I. Nicula, C. Damian, Şt. Enescu,
M. Weissenberg, L. Löbel, M. Tannenbaum

Îndrumător pentru calculul elementelor de beton, beton armat şi beton precomprimat prin metoda stărilor limită

Scanned with OKEN Scanner

Ing. I. Nicula, Ing. C. Damian, Ing. Şt. Enescu,
Ing. M. Weissenberg, Ing. L. Löbel, Ing. M. Tannenbaum

Îndrumător pentru calculul elementelor de beton, beton armat şi beton precomprimat prin metoda stărilor limită

EDITURA TEHNICĂ
BUCUREŞTI — 1963

Scanned with OKEN Scanner

Lucrarea constituie un îndreptar util pentru calculul și alcătuirea secțiunilor elementelor de beton, beton armat și beton precomprimat cu metoda stărilor limită. În cuprinsul lucrării sînt expuse sistematizat principalele prevederi ale normativului P. 8-62 introducîndu-se explicații suplimentare și exemple de calcul în scopul unei înțelegeri mai depline a metodei stărilor limită.

Cartea se adresează inginerilor constructori din institutele de proiectări și de pe șantiere, care se ocupă cu proiectarea și executarea construcțiilor de beton și beton armat.

Scanned with OKEN Scanner

PREFAȚĂ

În ultimele trei decenii, metodele de calcul ale construcțiilor de beton armat au cunoscut transformări fundamentale. Vechea metodă de calcul — cu rezistențe admisibile — care corespundea concepțiilor și nivelului teoretic al mecanicii construcțiilor de la sfîrșitul secolului al XIX-lea a fost înlocuită cu metoda de calcul în stadiul de rupere.

Punerea la punct a noii metode a fost făcută în U.R.S.S., pe baza propunerilor prof. A. F. Loleit și a studiilor experimentale conduse de prof. A. A. Gvozdev și a început să fie utilizată din 1938. Metoda de calcul la rupere introducea un criteriu nou, pentru aprecierea rezistenței elementelor de beton armat: determinarea capacității portante, cu luarea în considerație a proprietăților plastice a materialelor, în momentul ruperii.

Metoda de calcul la rupere, care este oficializată și la noi prin STAS 1546-50, s-a dovedit însă și ea necorespunzătoare. Progresul tehnic în alcătuirea elementelor de beton armat și mai ales dezvoltarea betonului precomprimat au arătat că — pe lîngă verificarea siguranței la rupere a construcțiilor — este necesară și analiza comportării lor în exploatare. S-a creat o nouă noțiune mai largă decît aceea de siguranță față de rupere: stările limită.

Între anii 1943 și 1950, noua metodă de calcul a fost elaborată de un colectiv de oameni de știință sovietici. Comisia de redactare a metodei de calcul la stări limită a fost compusă din prof. N. S. Streleţki, prof. A. A. Gvozdev, prof. I. M. Ivanov, I. I. Onișcik, I. I. Goldenblat, V. A. Baldin, K. E. Tal, sub președinția prof. V. M. Keldîș.

Punerea în aplicare a metodei de calcul la stări limită a început în anul 1955, mai întîi pentru construcțiile de beton simplu și armat (normele NiTU 123-55) și s-a extins apoi și asupra betonului precomprimat, construcțiilor metalice, podurilor, fiind astăzi folosită în toate domeniile construcțiilor. Din

Scanned with OKEN Scanner

anul 1962, în U.R.S.S. a intrat în vigoare o nouă formă mai perfecționată a calculului la stări limită pentru construcțiile de beton armat și precomprimat: normele SNIP B-62.

Metoda de calcul la stări limită verifică siguranța construcțiilor în exploatare și în stadiul de rupere, analizînd comportarea lor atît în stadiul elastic, cît și în stadiul plastic. Din acest punct de vedere ea poate fi privită ca o sinteză perfecționată a metodei de calcul la rupere, cu metoda rezistențelor admisibile.

În același timp, noua metodă lichidează neajunsul coeficienților de siguranță unici, folosiți de vechile metode, prin înlocuirea cu coeficienți diferențiați, care țin seamă de variabilitatea calității materialelor și a încărcărilor, sau corectează rezultatele unor relații teoretice de calcul.

În țara noastră, studiile în vederea introducerii metodei de calcul la stări limită au început din anul 1955. Prin ordinul C.S.C.A.S. nr. 178 din 7 mai 1960 a fost alcătuită o comisie centrală, ale cărei subcomisii au elaborat pînă în prezent patru normative condiționate: cel referitor la principiile noii metode, al doilea pentru încărcări, al treilea, pentru construcțiile de beton, beton armat și beton precomprimat, al patrulea pentru construcții metalice. Aceste normative au fost editate de Editura tehnică, în anii 1962 și 1963, în două volume.

Normativul P. 8-62 pentru calculul construcțiilor de beton, beton armat și beton precomprimat se aplică deocamdată construcțiilor civile și industriale, dar în viitorul apropiat principiile sale se vor extinde și în domeniul podurilor și construcțiilor hidrotehnice. La baza redactării sale stă un bogat material documentar, elaborat de cercetători sovietici și din alte țări, precum și studiile teoretice și experimentale întreprinse în ultimii ani la noi, în special la I.N.C.E.R.C. și la Institutul de Construcții din București, care au adus o contribuție originală în rezolvarea calculului stărilor limită de fisurare și deformare, al elementelor de beton armat precum și în acel al stării limită de rezistență a elementelor de beton precomprimat.

Însușirea prevederilor normativului P. 8-62 și aplicarea lor justă la dimensionarea și proiectarea construcțiilor, constituie o sarcină de mare răspundere pentru inginerii noștri. Îndrumătorul de față — întocmit de cadre didactice și cercetători care au participat la elaborarea normativului — este menit să contribuie la ușurarea aplicării în proiectare a normativului P. 8-62, prin indicațiile practice, exemplele de calcul și tabelele ce conține.

Prof. Ing. V. NICOLAU

Scanned with OKEN Scanner

I

NOȚIUNI FUNDAMENTALE PENTRU CALCULUL CONSTRUCȚIILOR DE BETON ARMAT

1. Principii generale de calcul

În calculul elementelor de rezistență sau al unei structuri de beton, beton armat sau beton precomprimat, scopul urmărit este obținerea unei siguranțe suficiente, astfel ca pe durata funcționării construcției să nu apară nici una din stările limită care să producă epuizarea capacității portante sau împiedicarea unei exploatări normale a construcției.

Metoda de calcul la stările limită oferă posibilitatea creării siguranței necesare pentru construcțiile în exploatare, considerînd cele mai defavorabile valori ale caracteristicilor de rezistență și de deformație ale materialelor și elementelor, în raport cu solicitările determinate pe baza celor mai defavorabile valori și grupări ale încărcărilor, în funcție de starea limită luată în considerație.

În calculul elementelor de construcție din beton, beton armat și beton precomprimat se iau în considerație următoarele stări limită:

a) Stări limită ale capacității portante:
— starea limită de rezistență;
— starea limită de oboseală;
— starea limită de stabilitate.

b) Stări limită ale exploatării normale:
— starea limită de apariție a fisurilor;
— starea limită de deschidere a fisurilor;
— starea limită de deformație.

Calculul la stările limită de epuizare a capacității portante, constă în verificarea ca efortul unitar, solicitarea sau încăr-

Scanned with OKEN Scanner

carea totală, provenite din cele mai defavorabile grupări de încărcări, să nu depășească în timpul exploatării rezistența de calcul, solicitarea limită sau încărcarea limită corespunzătoare.

Calculul la stările limită ale exploatării normale constă în verificarea ca deplasările statice sau amplitudinile oscilațiilor, precum și solicitările sau deschiderea fisurilor, provenite din cele mai defavorabile grupări de încărcări, să nu depășească valorile limită corespunzătoare stabilite de normativul P. 8-62.

Pornind de la premiza neadmiterii nici uneia din stările limită arătate pe tot timpul exploatării construcției, elementele de construcție se verifică în diferite faze de lucru (execuție, exploatare, transport, montaj etc.), ținînd seama de caracteristicile materialelor și elementelor, precum și de schemele de calcul corespunzătoare.

Astfel, pentru elementele de beton simplu verificarea se face la starea limită de rezistență și de stabilitate (flambaj).

Elementele de beton armat se calculează la starea limită de rezistență și de stabilitate (flambaj), la starea limită de deschidere a fisurilor pentru elementele întinse centric sau excentric și încovoiate sau comprimate excentric, la starea limită de deformație pentru elementele încovoiate, iar pentru elementele supuse încărcărilor repetate se efectuează calculul la starea limită de oboseală.

În cazul cînd pentru calculul unei structuri este necesar să se determine deformațiile unor elemente supuse la alte solicitări decît încovoierea, calculul acestor deformații se face folosind rigiditățile determinate conform normativului P. 8-62, cap. 5.5.

Elementele de beton precomprimat se calculează la starea limită de rezistență și stabilitate (flambaj), la starea limită de apariție a fisurilor pentru elementele de construcție din categoria I și II de fisurabilitate, la starea limită de deschidere a fisurilor pentru elementele de construcție din categoria III de fisurabilitate, iar pentru elementele solicitate de încărcări repetate, la starea limită de oboseală.

Pe lîngă verificările amintite, la elementele de beton precomprimat se verifică și:

— valoarea eforturilor unitare de calcul din armătura pretensionată în faza inițială și în faza finală, ținînd seama de pierderile de tensiune respective;

— valoarea eforturilor unitare de control din armătura pretensionată;

— zonele de ancorare.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru elementele sau structurile de rezistență la care nu sînt stabilite metode pentru determinarea solicitărilor la stările limită (plăci curbe subțiri, grinzi pereți etc.), se permite calculul de comparare a eforturilor unitare maxime sub acțiunea încărcărilor de calcul, cu rezistențele de calcul ale materialelor corespunzătoare.

Eforturile unitare maxime în asemenea construcții de beton armat pot fi determinate pe baza ipotezelor clasice ale mecanicii construcțiilor, deoarece folosirea relațiilor de calcul în stadiul echilibrului limită are aici un caracter convențional și cîteodată neacoperitor.

Încărcările normate și de calcul precum și modul lor de grupare se iau conform normativului P. 7-62 „Încărcări în construcțiile civile și industriale".

În calculul solicitărilor se iau în considerație următoarele încărcări:

— încărcarea de calcul pentru stările limită de rezistență și de stabilitate;

— încărcarea normată pentru starea limită de oboseală;

— încărcarea normată pentru stările limită ale exploatării normale, cu excepția stării limită de apariție a fisurilor la elementele de beton precomprimat din categoria I de fisurabilitate, la care se ia în considerație încărcarea de calcul.

Pentru solicitările repetate produse de acțiunea dinamică a mașinilor și utilajelor cu amplasament fix se iau în considerație încărcările de calcul corespunzătoare acestei acțiuni dinamice, grupate cu încărcările normate corespunzătoare celorlalte acțiuni statice sau dinamice.

Pentru verificarea elementelor prefabricate la transport și montaj se iau în considerație încărcările normate, multiplicate cu coeficientul dinamic 1,0 sau 1,5, după cum este mai defavorabil pentru verificarea respectivă.

La determinarea solicitărilor se recomandă să se ia în considerație modul real de lucru al elementului sau structurii la diferite stări limită, ținînd seama de proprietățile elastico-vîscos-plastice ale betonului și elastico-plastice ale armăturii, precum și de influența fisurării.

La elementele și structurile pentru care nu există prescripții corespunzătoare sau verificări experimentale concludente se permite ca determinarea solicitărilor să se facă cu metodele mecanicii construcțiilor pentru corpuri elastice și omogene.

Scanned with OKEN Scanner

La elementele și structurile static nedeterminate solicitate de încărcări repetate nu se ia în considerație redistribuirea solicitărilor.

La structurile static nedeterminate de beton precomprimat solicitările suplimentare introduse prin precomprimare se multiplică cu coeficientul de imprecizie 0,9 sau 1,1, după cum este mai defavorabil pentru verificarea respectivă.

2. Caracteristici de calcul ale materialelor

a. *Mărci de betoane utilizate*

Pentru construcțiile de beton, beton armat și beton precomprimat, normativul P. 8-62 stabilește următoarele mărci de betoane de rezistență: B 50, B 75, B 100, B 150, B 200, B 250, B 300, B 400, B 500, B 600.

Pentru elementele de construcție din beton simplu dimensionate pe baza unui calcul de rezistență se recomandă să se folosească betoane de marcă cel puțin B 75.

Pentru elementele de construcție din beton armat monolit se recomandă folosirea următoarelor mărci de betoane:

— la elementele solicitate la compresiune centrică și compresiune excentrică cu excentricitate mică, la elementele care trebuie să asigure o bună impermeabilitate, la elementele solicitate de încărcări repetate, la elementele cu pereți subțiri și la elementele armate cu bare de oțel cu profil periodic sau cu profile de oțel laminat, cel puțin marca B 200;

— la elementele masive de beton armat (de exemplu fundații, ziduri de sprijin), cel puțin marca B 100;

— la celelalte elemente cel puțin marca B 150.

Nu se admite executarea elementelor de beton armat cu betoane de marcă mai mică decît B 100.

Pentru elementele prefabricate de beton armat se recomandă betoane de marcă cel puțin B 200, iar pentru elementele prefabricate executate în fabrici, cel puțin B 250.

b. *Caracteristici de calcul ale betonului*

Rezistențele normate ale betonului se dau în tabela I.1.

Rezistențele de calcul ale betonului se dau în tabelele I.2 și I.3.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela I.1

Rezistențele normate ale betonului, în kgf/cm²

Nr. crt.	Natura solicitării	Notația	Marca betonului									
			B 50	B 75	B 100	B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500	B 600
1	Compresiune centrică (rezistență prismatică)	R^n_{pr}	40	60	80	115	145	180	210	280	350	420
2	Compresiune din încovoiere	R^n_t	50	75	100	140	180	220	260	350	440	520
3	Întindere	R^n_t	6	8	10	13	16	19	21	25	28	30

Tabela I.2

Rezistențele de calcul ale betonului pentru elemente de beton simplu, în kgf/cm²

Nr. crt.	Natura solicitării	Notația	Marca betonului						
			B 50	B 75	B 100	B 150	B 200	B 250	B 300
1	Compresiune centrică (rezistență prismatică)	R_{pr}	20	30	40	60	70	90	115
2	Compresiune din încovoiere	R_i	25	35	50	70	90	110	140
3	Întindere	R_t	2,0	3,0	3,5	4,5	6,0	7,0	8,5

Observație:

Pentru elementele supuse la compresiune centrică sau excentrică, turnate în poziție verticală, valorile R_{pr} și R_i vor fi reduse prin înmulțirea cu următorii coeficienți ai condițiilor de lucru:

$m=0,7$ pentru elemente avînd latura cea mai mică sub 35 cm;

$m=0,85$ pentru elemente avînd latura cea mai mică de 35 cm sau mai mult.

Valorile modulului de elasticitate al betonului E_b atît la compresiune cît și la întindere sînt cele date în tabela I.4.

Coeficientul de deformație transversală (coeficientul lui Poisson) se ia $\mu=0,15$ iar modulul de elasticitate transversală $G_b=0,4\,E_b$.

Coeficientul de dilatație termică liniară pentru elementele de beton, beton armat și beton precomprimat la variații de temperatură cuprinse între —30°C și +100°C se ia $\alpha_t=0,00001$.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela I.3

Rezistențele de calcul ale betonului pentru elemente de beton armat, în kgf/cm²

Nr. crt.	Natura solicitării	Notația	Marca betonului							
			B 100	B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500	B 600
1	Compresiune centrică (rezistență prismatică)	R_{pr}	45	65	80	100	130	170	200	230
2	Compresiune din încovoiere	R_i	55	80	100	120	160	210	250	280
3	Intindere	R_t	4,0	5,0	6,5	7,5	9,5	11,0	12,5	13,5

Observație:

Pentru elementele supuse la compresiune centrică sau excentrică, valorile R_{pr} și R_i vor fi reduse prin înmulțire cu următorii coeficienți ai condițiilor de lucru:

— la elemente turnate în poziție orizontală:
m=0,85 pentru elemente avînd dimensiunea cea mai mică sub 30 cm;
m=1,00 pentru elemente avînd dimensiunea cea mai mică de 30 cm sau mai mult;

— la elemente turnate în poziție verticală sau în poziție înclinată și cu cofraj pe toate laturile:
m=0,7 pentru elemente avînd dimensiunea cea mai mică sub 30 cm;
m=0,85 pentru elemente avînd dimensiunea cea mai mică de 30 cm sau mai mult.

Tabela I.4

Modulul de elasticitate la compresiune al betonului, E_b, în kgf/cm²

Marca betonului	B 50	B 75	B 100	B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500	B 600
Modulul de elasticitate E_b	110 000	155 000	190 000	230 000	265 000	290 000	315 000	350 000	380 000	400 000

c. *Armături pentru elemente de beton armat*

Armăturile de rezistență se realizează în mod curent din:
— bare rotunde din oțel laminat la cald OL 38;
— bare cu profil periodic laminat la cald PC 52 și PC 60;
— bare cu profil periodic din oțel torsionat la rece TOR 47 și TOR 57;
— sîrmă trasă mată, sub formă de plase sudate.

Scanned with OKEN Scanner

Normativul P. 8-62 recomandă folosirea cu precădere a oțelurilor superioare cu profil periodic și a plaselor și carcaselor sudate; de asemenea interzice utilizarea oțelurilor cu profil periodic torsionate la rece TOR 47 și TOR 57, precum și sîrma trasă mată, pentru armarea elementelor solicitate de încărcări repetate.

Armăturile constructive (care nu sînt dimensionate pe baza unui calcul de rezistență) se pot realiza din:

— bare rotunde din oțel laminat la cald OL 38;
— bare rotunde din oțel laminat la cald OL 00;
— sîrmă trasă mată legată cu sîrmă.

Rezistențele normate și de calcul ale armăturilor se dau în tabela I.5.

Modulul de elasticitate al armăturii se consideră:

— $E_a = 2\,100\,000$ kgf/cm² pentru oțelurile OL 38, PC 52, PC 60, TOR 47, TOR 57;
— $E_a = 1\,800\,000$ kgf/cm² pentru sîrma trasă mată.

Tabela I.5

Rezistențele normate și rezistențele de calcul ale armăturilor

Calitatea oțelului	Diametrul nominal mm	Rezistențe normate kgf/cm²	Rezistențe de calcul, kgf/cm²	
			Armătură longitudinală și armătură transversală pentru calculul în secțiuni înclinate la moment încovoietor	Armătură transversală pentru calculul în secțiuni înclinate la forțe tăietoare
OL 38	$d \leqslant 12$	2 400	2 100	1 700
	$d > 12$	2 200		
PC 52	$d \leqslant 12$	3 700	2 900	2 300
	$d > 12$	3 400		
PC 60	$d \leqslant 12$	4 400	3 400	2 700
	$d > 12$	4 000		
TOR 47	$d \leqslant 12$	3 800	2 800	2 200
	$d > 12$	3 500		
TOR 57	$d \leqslant 12$	4 600	3 400	2 700
	$d > 12$	4 200		
Sîrmă trasă mată	3—4	4 500	3 600	2 500
	4,5—5,5	4 000	3 200	2 200
	6—10	3 500	2 800	1 950

Scanned with OKEN Scanner

II

INDICAȚII CONSTRUCTIVE PENTRU ELEMENTELE DE BETON ȘI BETON ARMAT

1. Indicații generale privind armăturile

a. *Armături constructive în elementele de beton*

Normativul P. 8-62 prevede pentru elementele de beton simplu armături constructive în următoarele cazuri:

— în zonele de modificare bruscă a dimensiunilor;

— în zonele de modificare a înălțimii pereților (pe o porțiune lungă de cel puțin un metru);

— în pereții de beton, deasupra și sub fiecare gol;

— în elementele de construcție supuse în mod obișnuit la acțiunea unor temperaturi peste 70°C sau a unor solicitări dinamice;

— pe fața întinsă a elementelor solicitate la încovoiere sau la compresiune excentrică cu excentricitate mare la care se admite apariția fisurilor și în acest caz armătura va avea secțiunea de cel puțin 0,05% din aria secțiunii transversale de beton.

b. *Procente minime de armare*

Procentele minime de armare se limitează pentru toate tipurile de armătură în funcție de marca betonului după cum urmează:

— pentru B 100—B 200	0,1 %;
— pentru B 250—B 400	0,15%;
— pentru B 500—B 600	0,20%.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste procente minime se aplică pentru elementele solicitate la încovoiere, compresiune excentrică și întindere excentrică cu excentricitate mare, referindu-se la armătura de pe latura întinsă a secțiunii.

Pentru elementele solicitate la compresiune excentrică și întindere excentrică cu excentricitate mică, procentul minim se referă la armătura pentru fiecare din cele două laturi mai solicitate ale secțiunii.

Pentru elementele solicitate la compresiune centrică se vor lua drept procente minime de armare pe întreaga secțiune valori duble față de cele prevăzute mai înainte.

La secțiunile T și I, procentul de armare se calculează față de secțiunea utilă a inimii bh_0.

În cazul cînd calculul elementelor se efectuează ținînd seama de contracție, curgere lentă și de efectul variațiilor de temperatură, se admite ca procentele de armare prevăzute mai înainte să fie reduse cu 50%.

c. *Diametre minime ale armăturilor*

Pentru elementele de beton armat turnate monolit sau preturnate normativul P. 8-62 prevede utilizarea următoarelor diametre minime pentru armăturile de rezistență.

Stîlpi:

— cu latura cea mai mică $b<25$ cm — 12 mm;
— cu latura cea mai mică $b\geqslant 25$ cm — 14 mm;
— diametrul barei fretei la stîlpi fretați — 6 mm.

Plăci de acoperiș — 6 mm.

Plăci pentru planșee intermediare:

— armate cu bare rotunde — 7 mm;
— armate cu bare cu profil periodic — 6 mm.

Plăci pentru planșee ciuperci:

— în fîșiile de cîmp — 8 mm;
— în fîșiile de reazem — 10 mm.

Plăci armate cu plase sudate: — 5 mm;

Grinzi:

— la planșee obișnuite — 10 mm;
— la planșee cu nervuri dese — 8 mm.

Pentru etrieri, armături de repartiție, de montaj și alte armături constructive se prevăd diametrele minime date în continuare.

Scanned with OKEN Scanner

Etrieri la:

— stîlpi neportanți	5 mm;
— stîlpi portanți cu $b<40$ cm	6 mm;
— stîlpi portanți cu $b\geqslant 40$ cm	7 mm;
— grinzi cu înălțimea secțiunii $h\leqslant 80$ cm	6 mm;
— grinzi cu înălțimea secțiunii $h>80$ cm	8 mm.
Armătură de repartiție pentru plase legate cu sîrmă	5 mm.
Armătură de repartiție pentru plase sudate	3 mm.
Armătură de montaj la grinzi	8 mm.
Armătură longitudinală la stîlpi neportanți	10 mm.
Armătură constructivă la stîlpi portanți	12 mm.

Pentru elementele prefabricate se admite folosirea unor diametre mai mici decît cele prevăzute anterior, cu condiția de a se realiza o bună îndreptare a barelor și menținerea liniarității lor în timpul betonării.

În vederea ușurării operațiilor de alcătuire a secțiunilor elementelor de beton armat, în tabelele din anexă sînt indicate diametrele prevăzute de STAS 438-61 pentru fiecare tip de armătură, aria transversală pentru un număr determinat de bare precum și perimetrele barelor, necesare pentru calculul la starea limită de deformație și deschidere a fisurilor.

d. *Prescripții pentru armăturile înclinate*

În carcasele legate cu sîrmă se folosesc bare înclinate avînd de regulă un unghi de înclinare față de axa elementului egal cu 45°. La grinzile înalte (cu înălțimea mai mare decît 80 cm), și în grinzile pereți se poate mări unghiul de înclinare pînă la 60°.

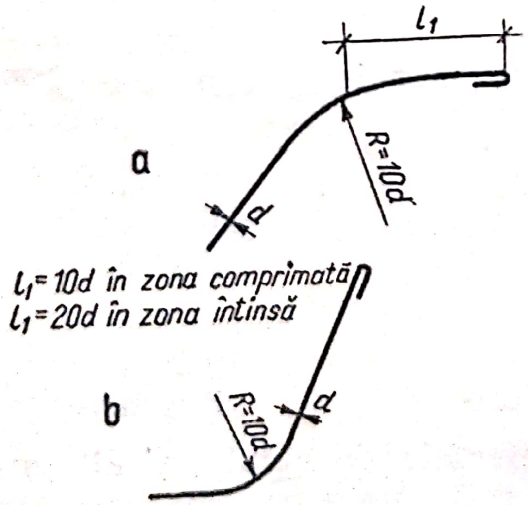


Fig. II.1.

În plăci și grinzi joase pe care acționează sarcini concentrate, unghiul de înclinare poate fi redus pînă la 30°. Pentru elementele solicitate de încărcări repetate nu se admit înclinări sub 45°.

Îndoirea barelor se va face după un arc de cerc cu raza interioară de cel puțin 10 *d*.

Armăturile înclinate vor avea la capete porțiuni drepte

Scanned with OKEN Scanner

avînd lungimea de cel puțin 10 *d* în zona comprimată și cel puțin 20 *d* în zona întinsă, iar porțiunile drepte ale barelor înclinate netede se vor termina cu ciocuri (fig. II.1).

Nu se admite folosirea barelor înclinate sub formă de bare flotante adică alcătuite numai dintr-o singură porțiune înclinată și două porțiuni paralele cu axa grinzii.

e. *Înnădirea fără sudură a armăturilor*

Armăturile cu diametre pînă la 25 mm pot fi înnădite fără sudură. În acest caz lungimea de suprapunere a barelor înnădite, amplasate în zona întinsă a elementelor solicitate la încovoiere, compresiune excentrică și întindere excentrică cu excentricitate mare, se va lua de cel puțin 25 cm și cel puțin egală cu valorile date în continuare.

Armături din oțel rotund OL 38:

— pentru betoane B 100 și B 150, minimum 35 *d*;

— pentru betoane B 200 și mărci superioare, minimum 30 *d*.

Armături din oțel cu profil periodic PC 52, PC 60, TOR 47 și TOR 57 precum și din sîrmă trasă mată în carcase sudate:

— pentru betoane B 100 și B 150, minimum 45 *d*;

— pentru betoane B 200 și mărci superioare, minimum 40 *d*.

Pentru armăturile elementelor care lucrează la întindere centrică sau întindere excentrică cu excentricitate mică, în plăci sau pereți, se vor adopta lungimi minime sporite cu 5 *d* față de cele date mai înainte.

Nu se admite executarea înnădirilor prin suprapunere fără suduri în elementele liniare a căror secțiune este întinsă în întregime (tiranți).

Secțiunea armăturilor întinse înnădite prin petrecere fără suduri într-o singură secțiune va fi de maximum 25% din secțiunea totală de armătură în cazul armăturilor netede și de maximum 50% în cazul armăturilor cu profil periodic.

Prin excepție, se admite ca la armăturile stîlpilor turnați monolit, care au pe latura întinsă numai trei bare longitudinale, cu mustăți scoase din fundație, să se înnădească într-o secțiune două bare, cea de-a treia (bara mijlocie) fiind înnădită în altă secțiune, mai apropiată de fundație.

Lungimea minimă de suprapunere pentru barele înnădite în zone comprimate poate fi cu 10 *d* mai mică decît valorile

Scanned with OKEN Scanner

anterioare, dar nu mai mică decît 20 cm; pentru barele din oțel rotund, fără ciocuri la capete, lungimea minimă de suprapunere va fi de 30 *d*.

La elemente liniare solicitate la compresiune centrică sau excentrică, pe lungimea de suprapunere a armăturilor din zona de înnădire, etrierii vor fi îndesiți la distanța maximă de 10 diametri ai armăturii longitudinale.

f. *Sudarea armăturilor*

Normativul P. 8-62 prevede respectarea următoarelor condiții pentru sudarea armăturilor:

— înnădirea armăturilor prin sudare electrică de contact cap la cap, este permisă numai pentru bare avînd diametrul de cel puțin 10 mm;

— sudarea electrică cu arc se va folosi pentru îmbinările de montaj ale barelor din oțel laminat la cald cu diametrul de cel puțin 10 mm și pentru sudurile pieselor metalice de ancorare; se permite folosirea sudării electrice cu arc (dacă nu există utilaj pentru sudarea electrică de contact) pentru bare al căror diametru nu depășește 8 mm, confecționate din oțel laminat la cald, cu condiția ca la punctele de încrucișare a barelor din plase sau carcase sudate în care sudura are și rol de rezistență, să se prevadă piese metalice suplimentare (de exemplu guseuri, ciocuri).

Nu se permite folosirea sudării electrice cu arc la armăturile de tip TOR 47, TOR 57 și sîrmă mată trasă.

Se permite totuși numai sudarea electrică de contact prin puncte pe baza unui regim de sudare verificat prin încercări prealabile și numai cu mașini automate care asigură constanța regimului prescris.

Tipurile de înnădiri prin sudare sînt indicate în tabela II.1.

g. *Piese metalice pentru îmbinări*

Prescripțiile constructive ce trebuie respectate în proiectare și execuție sînt:

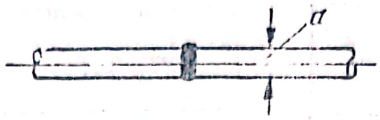
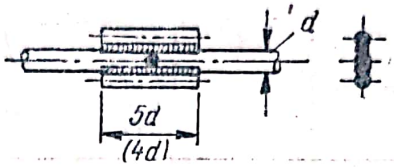
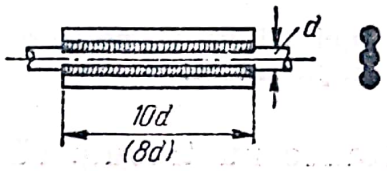
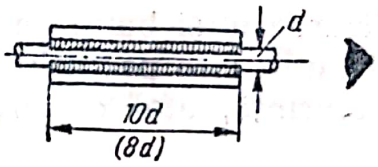
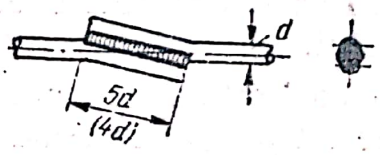
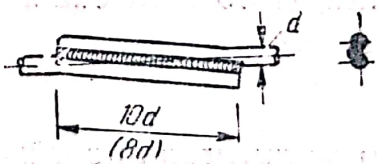
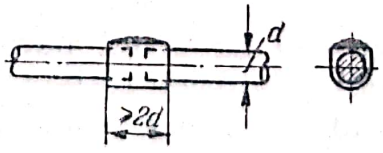
— pentru sudarea pieselor metalice se vor folosi acele metode de sudare electrică ce nu provoacă deformări însemnate ale pieselor;

— piesele metalice nu trebuie să fie supuse la încovoiere și să nu provoace despicarea betonului;

Scanned with OKEN Scanner

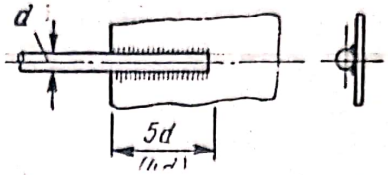
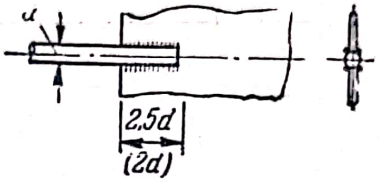
Tabela II.1

Tipuri de înnădiri prin sudare

Nr. crt.	Tipul înnădirii	Schița înnădirii	Oțel	Diametrul
1	Sudură electrică a barelor cap la cap prin topire intermediară		OL 38 PC 52 PC 60	10—40 10—40 10—40
2	Sudare cu arc electric pe eclise cu patru cordoane laterale de sudură		OL 38 PC 52 PC 60	8—40 10—40 8—40
3	Sudare cu arc electric pe eclise cu două cordoane laterale de sudură		OL 38 PC 52 PC 60	8—40 10—40 8—40
4	Sudare cu arc electric pe eclisă-cornier cu două cordoane laterale de sudură		OL 38 PC 52 PC 60	8—40 10—40 8—40
5	Sudare cu arc electric prin suprapunere cu două cordoane laterale de sudură		OL 38 PC 52 PC 60	8—40 10—40 8—40
6	Sudare cu arc electric prin suprapunere cu un singur cordon lateral de sudură		OL 38 PC 52 PC 60	8—40 10—40 8—40
7	Sudare cu arc electric pe eclise în formă de jgheab, cu diferite tehnologii		OL 38 PC 52 PC 60	20—32 20—32 20—32

Scanned with OKEN Scanner

Tabela II.1 (continuare)

Nr. crt.	Tipul înnădirii	Schița înnădirii	Oțel	Diametrul
8	Sudare cu arc electric a barelor de o plăcuță metalică, cu două cordoane laterale de sudură		OL 38 PC 52 PC 60	8—40 10—40 8—40
9	Sudare cu arc electric a barelor de o plăcuță metalică cu 4 cordoane laterale de sudură		OL 38 P 52 PC 60	20—40 20—40 20—40

Observație:

Pentru bare din oțel OL 38, se permite adoptarea lungimilor de înnădire prevăzute în paranteze.

— piesele metalice nu trebuie să iasă din suprafața elementului;

— pentru realizarea unei bune ancorări, fiecare piesă metalică va avea cel puțin cîte patru brațe de ancorare din oțel rotund sau de preferință, oțel cu profil periodic laminat la cald;

— nu se va utiliza sudarea unei plăcuțe sau corniere de ancoraj decît dacă se iau măsuri speciale pentru a împiedica despicarea betonului.

Se recomandă ca brațele de ancorare a pieselor metalice să fie ancorate pe cît posibil în zona comprimată a betonului. Lungimea barelor de ancorare va fi de 15 *d*, în cazul ancorării în zona comprimată, și 30 *d* în cazul ancorării în zona întinsă a betonului.

h. *Condiții pentru asigurarea ancorării armăturilor*

Armăturile din oțel cu profil periodic precum și cele din oțel rotund (neted) în plase sudate se fasonează de regulă fără ciocuri. Se pot de asemenea executa fără ciocuri armăturile din oțel rotund (neted) în plase sau carcase legate cu

Scanned with OKEN Scanner

sîrmă de orice diametru, în elemente solicitate la compresiune centrică, precum și armăturile comprimate cu diametrul pînă la 12 mm, în elemente solicitate la încovoiere, compresiune excentrică și întindere excentrică.

Pentru armăturile din oțel rotund (neted) care nu au fost menționate pînă acum, se vor folosi ciocuri semicirculare, cu diametrul interior (lumina) de 2,5 *d*.

2. Indicații generale privind alcătuirea secțiunilor

a. *Stratul de acoperire din beton*

În alcătuirea secțiunilor elementelor de beton armat este necesar să se respecte acoperirea din beton prevăzută în normativul P. 8-62 pentru armăturile de rezistență după cum urmează:

a) pentru plăci și pereți cu grosimea pînă la 10 cm inclusiv, 1,0 cm;

b) pentru plăci și pereți cu grosimea mai mare decît 10 cm precum și pentru grinzi cu înălțimea pînă la 25 cm, 1,5 cm;

c) pentru grinzi cu înălțimea de 25 cm sau mai mare precum și pentru stîlpi:

— cînd armăturile de rezistență au diametrul $d \leqslant 20$ mm, 2,0 cm;

— cînd $20 < d \leqslant 32$ mm 2,5 cm;

— cînd $d > 32$ mm 3,0 cm;

— în cazul armăturilor din profile laminate 5,0 cm;

d) pentru grinzile de fundație și fundațiile prefabricate 3,0 cm;

e) pentru armătura inferioară a fundațiilor monolite:

— în cazul cînd există un strat de egalizare 3,5 cm;

— în cazul cînd nu există un strat de egalizare 7,0 cm.

Normativul P. 8-62 prevede pentru etrieri și barele transversale din carcase o acoperire de cel puțin 1,5 cm, iar pentru armăturile de repartiție din plăci, minimum 1,0 cm.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru elementele cu secțiune tubulară (inelară) trebuie respectate acoperirile minime cu beton atît față de suprafața exterioară cît și față de suprafața interioară.

Pentru elementele prefabricate tipizate, omologate pe bază de încercări și executate în fabrici, cu beton de marcă cel puțin B 250, acoperirea cu beton poate fi micșorată cu 0,5 cm față de valorile indicate, dar va fi în orice caz de minimum 1,0 cm pentru plăci și minimum 2,0 cm pentru elementele enunțate la pct. c).

Dacă betonul este supus acțiunii fumului, vaporilor, acizilor, unei umidități ridicate (60—95%) sau înghețului-dezghețului repetat, grosimile stratului de acoperire vor fi mărite cu cel puțin 0,5 cm în cazurile prevăzute la pct. a) și b) și respectiv 1,0 cm în cazurile prevăzute la pct. c). Aceleași sporuri vor fi prevăzute și pentru elementele prefabricate.

În toate elementele prefabricate solicitate la încovoiere distanța dintre capetele barelor longitudinale și marginea elementului va fi de cel mult 0,5 cm pentru panouri și plăci și cel mult 1,0 cm pentru celelalte elemente.

Pentru armăturile înclinate acoperirea laterală cu beton trebuie să fie cel puțin de două ori diametrul barelor respective.

Se atrage atenția că valorile stratului de acoperire din beton prevăzute de normativul P. 8-62 sînt minime. Cercetările experimentale și observațiile efectuate asupra unor construcții de beton armat au arătat că este necesară o majorare a acestor valori pentru a asigura o conlucrare mai bună a armăturilor cu betonul.

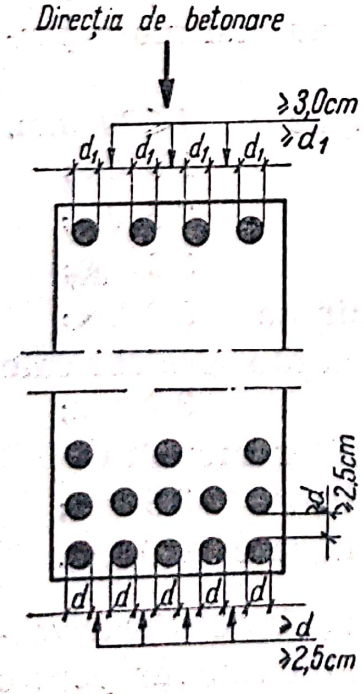


Fig. II.2.

b. *Distanța dintre armăturile longitudinale de rezistență*

Distanța (lumina) dintre armăturile longitudinale de rezistență care au o poziție orizontală sau înclinată în timpul betonării se ia cel puțin egală cu diametrul barelor, minimum 2,5 cm pentru armătura de la partea inferioară și 3,0 cm pentru armătura de la partea superioară (fig. II.2).

Cînd armătura de la partea inferioară este dispusă pe mai mult de două rînduri,

Scanned with OKEN Scanner

distanța minimă (în afară de barele primelor două rînduri) va fi de 5,0 cm. Pentru barele care au o poziție verticală în timpul turnării, distanța minimă va fi de 5,0 cm.

În stabilirea distanței dintre barele cu profil periodic se va lua în considerație diametrul nominal.

La elementele prefabricate, distanța dintre bare poate fi micșorată pînă la 1,5 cm, însă minimum diametrul armăturii, ținîndu-se seama de aceasta la stabilirea dimensiunilor maxime ale agregatelor utilizate.

La plăci, distanța minimă între axele armăturilor de rezistență, care sînt așezate la partea superioară în timpul turnării, trebuie să fie de 10 cm iar distanța maximă la mijlocul deschiderii și pe reazeme, de 20 cm pentru plăcile cu grosimea de cel mult 15 cm și 1,5 h_p pentru plăcile cu grosimea mai mare decît 15 cm, h_p fiind grosimea plăcii.

Distanța dintre axele armăturilor de repartiție va fi de maximum 35 cm.

c. *Dimensiunile minime ale secțiunii elementelor*

Dimensiunile minime ale secțiunilor elementelor de beton armat comprimate centric sau excentric se vor adopta astfel încît flexibilitatea lor să nu depășească valorile maxime prevăzute în tabela IV.1.

Se recomandă ca dimensiunile minime ale stîlpilor de secțiune dreptunghiulară să fie astfel alese încît raportul l_f/b să nu fie mai mare decît 30, iar raportul l_f/h să nu fie mai mare decît 35.

În cazuri excepționale, normativul P. 8-62 admite creșterea flexibilității cu cel mult 25%.

Pentru plăcile de beton armat monolit se recomandă următoarele grosimi minime:

— pentru planșee de acoperiș 5 cm;
— pentru planșee intermediare la construcții civile 6 cm;
— pentru planșee intermediare la construcții industriale 7 cm;
— pentru planșee carosabile 8 cm.

Scanned with OKEN Scanner

Se recomandă ca elementele de beton armat cu secțiune dreptunghiulară, solicitate la încovoiere cu torsiune să aibă lățimea egală cu cel puțin jumătate din înălțimea secțiunii ($h/b \leqslant 2$).

d. *Indicații privind alcătuirea stîlpilor*

La stîlpii comprimați centric sau excentric se recomandă ca secțiunea întregii armături longitudinale să nu depășească 3% din secțiunea betonului necesară din calcul. De asemenea, este indicat ca pe fiecare latură a stîlpului să se așeze cel puțin cîte două bare longitudinale, iar distanța maximă între ele pe fiecare latură a stîlpului să nu depășească 40 cm.

Pe laturile lungi ale secțiunii stîlpilor comprimați excentric se vor așeza armături constructive cu diametrul de minimum 12 mm, astfel ca distanța maximă dintre barele longitudinale să fie de 50 cm.

Distanțele maxime dintre etrierii stîlpilor se iau de regulă 15 *d* pentru carcasele legate cu sîrmă și 20 *d* pentru carcasele sudate, *d* fiind diametrul minim al barelor longitudinale comprimate rezultate din calcul; distanța dintre etrieri nu trebuie să depășească 50 cm.

În zonele de înnădire prin suprapunere fără sudură a armăturilor, etrierii vor fi îndesiți, distanța maximă dintre ei fiind de 10 *d*.

Pentru stîlpii cu procente de armare mai mari decît 3% etrierii se vor așeza la distanța maximă de 10 *d* și vor fi sudați de armătura longitudinală.

Armăturile longitudinale de rezistență ale stîlpilor trebuie să se găsească, cel puțin din două în două, în colțurile unor etrieri. Pentru elementele cu lățimea maximă de 40 cm și cu cel mult 4 bare longitudinale de fiecare parte a secțiunii se permite folosirea etrierilor simpli.

În cazul utilizării de carcase sudate, la fiecare din cele 4 bare longitudinale de colț se vor suda toate armăturile transversale de pe cele două direcții care formează un contur închis.

La stîlpii fretați, pasul fretei va fi de maximum 8 cm, dar nu mai mult de 1/5 din diametrul sîmburelui de beton fretat.

Scanned with OKEN Scanner

Secțiunea convențională a fretei, dacă este luată în considerație în calcul, trebuie să fie de cel puțin 25% din secțiunea armăturii longitudinale de rezistență.

e. *Indicații pentru elementele încovoiate*

La grinzile cu lățimea de 15 cm sau mai mare, numărul barelor de rezistență longitudinale care se prelungesc peste reazem va fi de cel puțin două; se permite prelungirea peste reazem numai a unei singure bare dacă lățimea grinzii este mai mică decît 15 cm.

Se recomandă ca barele prelungite peste reazem să reprezinte cel puțin 1/3 din secțiunea armăturii longitudinale de rezistență, din dreptul momentului încovoietor maxim.

În plăci se vor prelungi peste reazem barele reprezentînd cel puțin 1/3 din secțiunea armăturii longitudinale de rezistență, distanța maximă dintre ele fiind de 40 cm.

În grinzile cu înălțimea mai mare decît 70 cm se vor așeza pe fețele laterale bare longitudinale constructive, la distanța maximă de 40 cm iar aria secțiunii lor va fi cel puțin 0,1% din aria secțiunii transversale a grinzii (bh_0).

Independent de rezultatele calculului, la grinzile cu înălțimea secțiunii mai mare decît 30 cm se vor prevedea întotdeauna etrieri.

Dacă înălțimea grinzii este egală sau mai mică decît 30 cm, dar mai mare decît 15 cm iar din calcul nu sînt necesari etrieri, aceștia vor fi amplasați în mod obligatoriu la capetele elementului pe o lungime de cel puțin 1/4 din deschidere.

Se poate renunța la etrieri numai în grinzile cu înălțime mai mică decît 15 cm.

La grinzile care nu au armături înclinate, distanțele dintre etrieri sau barele transversale sudate vor fi pe porțiunile dinspre reazeme:

— maximum 15 cm pentru grinzile cu înălțimea $h \leqslant 45$ cm;
— maximum 30 cm și maximum $h/3$, pentru grinzile cu înălțimea $h > 45$ cm.

Aceste condiții vor fi respectate pentru porțiunile dinspre reazeme egale cu:

— 1/4 din deschiderea elementului în cazul încărcărilor uniform distribuite;
— distanța dintre reazem și încărcarea cea mai apropiată de el în cazul încărcărilor concentrate.

Scanned with OKEN Scanner

Pe restul deschiderii, precum și în zonele de amplasare a barelor înclinate, distanțele dintre etrieri sau armăturile transversale vor fi de cel mult 50 cm și cel mult 3/4 *h*.

Dacă în elementul încovoiat este așezată armătură comprimată a cărei necesitate rezultă dintr-un calcul, distanțele dintre etrieri vor fi:

— 15 *d* pentru carcase legate cu sîrmă;
— 20 *d* pentru carcase sudate.

În grinzile cu secțiune T la care armătura de rezistență a plăcii este paralelă cu direcția grinzii, se va prevedea o armătură suplimentară, perpendiculară pe direcția grinzii, reprezentînd cel puțin $^1/_3$ din secțiunea armăturii de rezistență a plăcii în deschidere și cel puțin 5 bare cu diametrul de 7 mm pe metru.

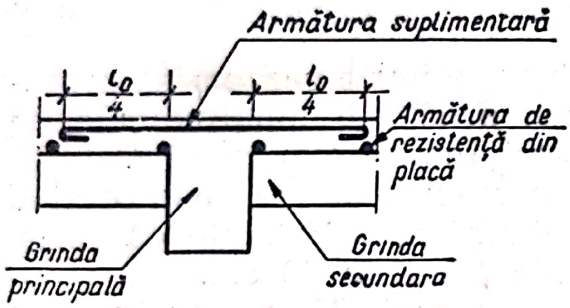


Fig. II.3.

Aceste bare vor pătrunde în placă de fiecare parte a grinzii, pe o lungime de cel puțin 1/4 din deschiderea de calcul a plăcii, măsurată de la marginea inimii grinzii (fig. II.3).

Secțiunea armăturilor de repartiție din plăci va avea o arie egală cu cel puțin 10% din aria secțiunii armăturilor de rezistență (pe metru), respectîndu-se în același timp prescripțiile pentru diametrul minim și distanța maximă de cel mult 35 cm.

La reazemele simple ale elementelor, armăturile longitudinale vor fi petrecute dincolo de marginea interioară a reazemelor cu cel puțin 10 *d* în cazul cînd armătura transversală nu rezultă necesară din calcul și cu cel puțin 15 *d* în cazul cînd armătura transversală este necesară din calcul.

Aceste lungimi vor putea fi reduse cu cel mult 5 *d* dacă se folosesc plase sau carcase sudate.

Plasele sau carcasele sudate executate din oțel rotund (neted) vor avea cîte o bară transversală sudată la fiecare bară longitudinală, amplasată la o distanță maximă de capătul carcasei sau plasei astfel:

$a < 15$ mm pentru $d \leqslant 10$ mm;
$a \leqslant 1{,}5\,d$ pentru $d > 10$ mm.

Pentru elementele încovoiate în care necesitatea armăturii transversale rezultă dintr-un calcul, pe lungimea de ancorare

indicată mai înainte vor fi sudate două bare transversale al căror diametru va fi de cel puțin jumătate din diametrul maxim al barelor longitudinale.

Se recomandă ca sudarea barelor transversale să se facă cu sudură electrică prin puncte; în cazul sudării cu arc electric trebuie să se acorde o atenție deosebită pentru obținerea calității corespunzătoare.

f. *Indicații constructive pentru elementele supuse altor solicitări*

În elementele solicitate la întindere excentrică cu excentricitate mare, pe toate laturile întinse parțial sau total, cu lățimea de 15 cm sau mai mult, se vor prevedea etrieri sau bare transversale sudate, la distanțe maxime de 50 cm dar nu mai mult decît de două ori înălțimea laturii întinse.

În elementele solicitate la întindere centrică sau întindere excentrică cu excentricitate mică, se va utiliza armătură transversală sub formă de fretă sau etrieri închiși sudați; la aceste elemente armătura poate fi alcătuită din carcase sudate cu contur închis.

În elementele cu secțiunea dreptunghiulară solicitate la torsiune cu încovoiere, etrierii vor fi închiși și vor avea capetele petrecute pe cel puțin 30 d; în cazul folosirii de carcase sudate, toate barele transversale pe ambele direcții vor fi sudate de barele longitudinale de colț, formînd un contur închis. Distanțele dintre barele transversale așezate într-un plan perpendicular pe axa elementului nu trebuie să depășească lățimea b și nici pe cele prevăzute pentru elemente încovoiate.

g. *Armarea colțurilor de cadre*

Nodurile formate prin intersecția riglelor cadrelor cu stîlpii se armează în funcție de caracterul solicitării, concretizat prin valoarea excentricității forței longitudinale.

În cazul cînd $e_0 < 0{,}25\ h$ armătura stîlpului se duce pînă la marginea superioară a riglei și armătura inferioară a riglei se introduce în stîlp pe o distanță de 20—30 d, iar cea superioară (întinsă) pe o distanță de 30—35 d (fig. II.4, *a*).

În cazul cînd excentricitatea este cuprinsă între 0,25 h și 0,5 h forma armăturii stîlpului și riglei rămîne aceeași; un

Scanned with OKEN Scanner

număr de două sau patru bare din zona întinsă a riglei vor trebuie duse în stîlp pe o lungime de 30—35 *d* de la fibra superioară a riglei iar un număr de cel puțin două bare vor fi duse dincolo de fibra inferioară a riglei pe o lungime de cel puțin 30 *d* (fig. II.4, *b*).

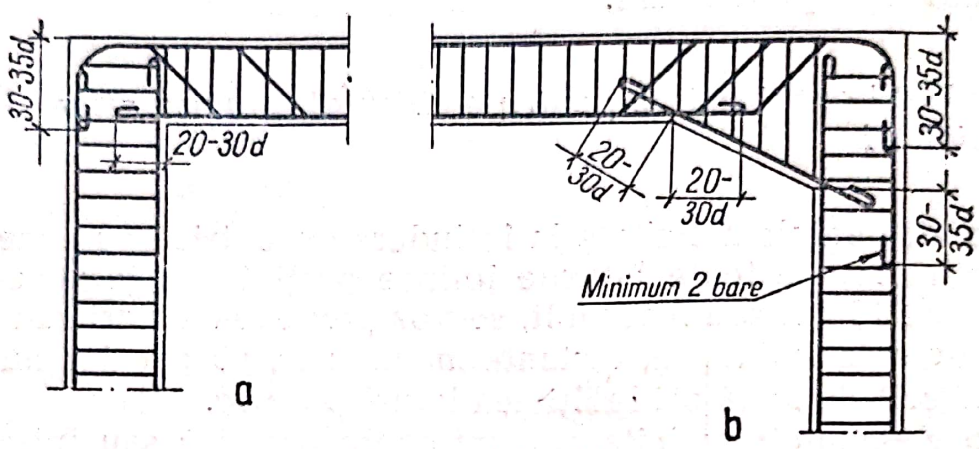


Fig. II.4.

În cazul cînd $e_0 > 0{,}5\ h$ cel puțin două bare din armătura stîlpului se îndoiesc cu o rază de 15 diametri și se duc în riglă iar restul barelor se opresc la nivelul laturii superioare a riglei; armătura întinsă a riglei se îndoiește de asemenea după o rază de 15 *d* și se duce în stîlp pe o distanță de cel puțin 30 *d* față de latura inferioară a riglei, întrerupîndu-se eșalonat cîte două bare la distanțe de 30 *d*.

Aceste recomandări se referă la armarea cu bare netede prevăzute cu ciocuri la capete.

Nodurile intermediare ale cadrelor etajate executate din beton monolit se armează astfel încît armătura întinsă a riglei să fie ancorată în stîlp pe lungimea de ancorare necesară.

Colțurile intrînde ale riglelor cadrelor se armează astfel:

— dacă vîrful colțului se găsește în zona comprimată, armăturile din partea vîrfului se vor duce continuu, îndoindu-se după unghiul colțului; se recomandă ca în zona vîrfului să nu se facă înnădiri de bare;

— dacă vîrful colțului se găsește în zona întinsă, barele se vor trece continuu peste vîrf (nu se admite în nici un caz înnădirea la vîrf);

— dacă intrîndul colțului (partea inferioară) se găsește în zona comprimată, se adoptă, de regulă, un sistem de bare în-

tretăiate, prelungite peste colț cu lungimea de ancorare a barelor comprimate;

— dacă intrîndul colțului se găsește la partea întinsă, se adoptă un sistem de bare întretăiate; nu se admite îndoirea barelor și trecerea lor continuă pe fața interioară a colțului, decît dacă unghiul pe care-l formează colțul este mai mare decît 160°. Se recomandă ca la intrîndul colțului să se execute în acest caz racordări prevăzute cu bare speciale, iar etrierii din zona colțului vor fi închiși și vor avea ramurile orizontale superioare petrecute (v. cap. VI, B).

Scanned with OKEN Scanner

III

ELEMENTE DE BETON SIMPLU

1. Compresiune centrică

a. *Relaţii de calcul*

Elementele de beton solicitate la compresiune centrică se calculează cu relaţia

$$N \leqslant \varphi A_b R_{pr} \qquad \text{(III.1)}$$

în care: N este forţa axială de calcul;
φ — coeficientul de flambaj;
A_b — aria secţiunii transversale a elementului.

Valoarea rezistenţei de calcul R_{pr} se ia conform tabelei I.2, ţinînd seama de observaţiile de la această tabelă.

Coeficientul de flambaj φ se ia din tabela III.1, în funcţie de raportul dintre lungimea de flambaj a elementului l_f şi dimensiunea secţiunii transversale, pe direcţia în care se calculează flambajul (b — în cazul secţiunii dreptunghiulare, respectiv raza de giraţie i — în cazul unei secţiuni oarecare).

Tabela III.1

Coeficienţii de flambaj φ pentru elemente de beton simplu

$\frac{l_f}{b}$	< 4	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$\frac{l_f}{i}$	< 14	14	21	28	35	42	49	56	63	70
φ	1	0,98	0,96	0,91	0,86	0, 2	0,77	0,72	0,68	0,63

Scanned with OKEN Scanner

Dacă nu se face un calcul mai exact, se permite adoptarea următoarelor lungimi de flambaj:

— pentru elemente (stîlpi sau pereți) cu rezemări rigide $l_f = H$;

— pentru elemente cu rezemări elastice $l_f = 1{,}25—1{,}50\ H$;

— pentru elemente libere la capăt $l_f = 2\ H$,

H fiind înălțimea de calcul a elementului.

b. *Exemplu de calcul*

Exemplul III.1. Să se dimensioneze un perete de beton simplu cunoscînd: valoarea maximă a încărcării de calcul $N = 40$ tf/m; peretele este înalt de 3,00 m și are rezemări elastice; se folosește beton de marcă B 150.

Luînd $l_f = 1{,}25\ H$, lățimea minimă a peretelui pentru a nu depăși $l_f/b = 20$, rezultă:

$$b \geqslant \frac{1{,}25 \times 300}{20} = 18{,}75 \text{ cm; se alege } b = 20 \text{ cm.}$$

$$\frac{l_f}{b} = \frac{1{,}25 \times 300}{20} = 18{,}75; \text{ din tabela III.1, } \varphi = 0{,}66.$$

$R_{pr} = 0{,}7 \times 70 = 49$ kgf/cm² (conform tabelei I.2).

$\varphi A_b R_{pr} = 0{,}66 \times 20 \times 100 \times 49 = 64\,600$ kgf $> N = 40\,000$ kgf.

Grosimea peretelui nu poate fi redusă, deoarece s-ar depăși raportul limită $l_f/b = 20$.

2. Încovoiere

a. *Relații de calcul*

Elementele de beton solicitate la încovoiere se calculează pe baza următoarelor ipoteze (fig. III.1):

— secțiunile plane înainte de deformație rămîn plane și după deformație;

Scanned with OKEN Scanner

— distribuţia eforturilor unitare normale în zona comprimată este triunghiulară;

— distribuţia eforturilor unitare normale în zona întinsă este dreptunghiulară;

— la marginea întinsă a secţiunii, deformaţia specifică de calcul este egală cu dublul deformaţiei specifice elastice corespunzătoare rezistenţei de calcul: $\varepsilon_t = 2R_t/E_b$.

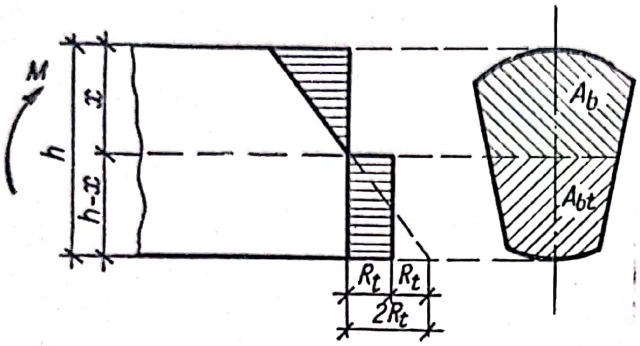


Fig. III.1.

Calculul se poate face cu relaţia:

$$M \leqslant \gamma W R_t \qquad \text{(III.2)}$$

în care: M este momentul încovoietor de calcul;
γ — coeficient prin care se ia în consideraţie plasticizarea zonei întinse a betonului;
W — modulul de rezistenţă al secţiunii (calculat elastic);
R_t — rezistenţa de calcul conform tabelei I.2.

Valoarea coeficientului γ pentru diferite forme de secţiuni se ia din anexa III.

Elementele cu secţiune dreptunghiulară se calculează cu relaţia:

$$M \leqslant \frac{bh^2 R_t}{3{,}5} \qquad \text{(III.3)}$$

unde b şi h sînt dimensiunile secţiunii.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul III.2. Să se calculeze grosimea unui zid de sprijin de beton simplu cunoscînd: momentul încovoietor de calcul $M = 1{,}9$ tfm/m; zidul se execută din beton de marcă B 200 (se neglijează încărcările din greutatea proprie).

Utilizînd relaţia (III.3) se deduce:

$$h^2 \geqslant \frac{3{,}5\,M}{bR_t} = \frac{3{,}5 \times 190\,000}{100 \times 6} = 1\,109 \cdot$$

Rezultă $h_{min} = 33{,}3$ cm.

Scanned with OKEN Scanner

Se adoptă grosimea zidului de 35 cm, armîndu-se constructiv conform indicațiilor din cap. II.

$A_a \geqslant 0{,}0005 \times 100 \times 35 = 1{,}75$ cm²/m; 4Ø 8/m ($A_a = 2{,}01$ cm²).

Exemplul III.3. Să se determine marca minimă de beton cu care se poate executa zidul din fig. III. 2, *a* cunoscînd că solicitarea de calcul este $M_1 = 3{,}6$ tfm/m (se neglijează efectul încărcării din greutatea proprie).

Secțiunea de calcul este arătată în fig. III.2, *b*. Distanța dintre axele contraforților este de 1,50 m.

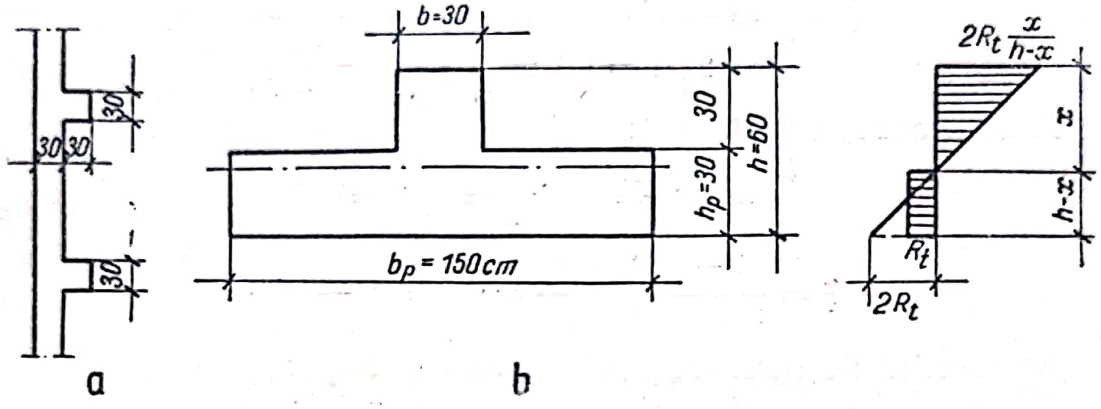


Fig. III.2.

Solicitarea de calcul pentru această secțiune este:

$$M = 1{,}5 \times 3{,}6 = 5{,}4 \text{ tfm.}$$

Pe baza relației (III.2) se poate scrie:

$$R_t \geqslant \frac{M}{W_{pl}}.$$

$$x_G = \frac{150 \times 60 \times 30 - 120 \times 30 \times 45}{150 \times 60 - 120 \times 30} = 20 \text{ cm}.$$

$$I = \frac{150 \times 20^3}{3} + \frac{120 \times 10^3}{3} + \frac{30 \times 40^3}{3} = 108 \times 10^4 \text{ cm}^4$$

$$W_{el}^{inf} = \frac{108 \times 10^4}{20} = 54 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

$\gamma = 1{,}75$ (conform anexei III).

$$R_t \geqslant \frac{M}{1{,}75\, W_{el}^{inf}} = \frac{540\,000}{1{,}75 \times 54 \times 10^3} = 5{,}71 \text{ kgf/cm}^2.$$

Marca minimă de beton necesară este B 200, $R_t = 6$ kgf/cm².

Armare constructivă: $A_a \geqslant \frac{0{,}0005\,(30 \times 150 + 30 \times 30)}{1{,}5} =$

$= 1{,}8$ cm²/m. Se ia 4 ∅ 8/m.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrînd direct cu ipotezele din fig. III.2, se stabilește poziția axei neutre cu ajutorul ecuației de proiecție pe orizontală:

$$b_p(h-x)R_t = b_p \frac{x}{2} 2R_t \frac{x}{h-x} - (b_p-b)(h-h_p) 2R_t \frac{x-\frac{h}{2}+\frac{h_p}{2}}{h-x}$$

$$(h-x)^2 = x^2 - \left(1-\frac{b}{b_p}\right)(h-h_p)(2x-h+h_p)$$

$$\xi = \frac{x}{h} = \frac{1-\left(1-\frac{b}{b_p}\right)\left(1-\frac{h_p}{h}\right)^2}{2\left[1-\left(1-\frac{b}{b_p}\right)\left(1-\frac{h_p}{h}\right)\right]}$$

Pentru cazul considerat:

$$\frac{b}{b_p} = \frac{30}{150} = 0{,}2\,; \frac{h_p}{h} = \frac{30}{60} = 0{,}5$$

$$\xi = \frac{1-0{,}8\times 0{,}5^2}{2(1-0{,}8\times 0{,}5)} = 0{,}67 > 1 - \frac{h_p}{h}.$$

Momentul de fisurare (față de axa neutră):

$$M = b_p \frac{(h-x)^2}{2} R_t + bxR_t \frac{x}{h-x} \cdot \frac{2}{3}x +$$

$$+ \frac{2}{3}(b_p-b)(h_p-h+x)^3 \frac{R_t}{h-x};$$

$$M = bh^2 R_t \left[\frac{b_p(1-\xi)^2}{2b} + \frac{2}{3}\frac{\xi^3}{1-\xi} + \frac{2}{3}\frac{\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\left(\frac{h_p}{h}-1+\xi\right)^3}{1-\xi}\right].$$

De unde:

$$M = 0{,}908\, bh^2 R_t$$

$$R_{min} = \frac{540\,000}{0{,}908\times 30\times 60^2} = 5{,}51 \text{ kgf/cm}^2.$$

Se va utiliza B 200.

3. Compresiune excentrică

a. *Relații de calcul*

Elemente de beton solicitate la compresiune excentrică se consideră că lucrează cu:

— excentricitate mare, dacă $S_b \leqslant 0{,}8\ S_0$;

— excentricitate mică, dacă $S_b > 0{,}8\ S_0$.

Scanned with OKEN Scanner

În aceste relații:

S_0 este momentul static al întregii secțiuni transversale față de marginea întinsă, respectiv mai puțin comprimată;

S_b — momentul static al zonei comprimate față de aceeași margine (fig. III.3).

Pentru secțiuni dreptunghiulare, limitele devin:

— excentricitate mare, dacă $e_0 \geqslant 0{,}225\ h$;

— excentricitate mică, dacă $e_0 < 0{,}225\ h$;

unde e_0 este distanța de la forța N la centrul de greutate G al secțiunii.

Aria zonei comprimate se determină din condiția ca centrul ei de greutate să coincidă cu punctul de aplicare al forței N.

Elementele de beton solicitate la compresiune excentrică cu excentricitate mare se calculează pe baza ipotezelor expuse în paragraful precedent (v. fig. III.1), ținîndu-se seama de influența flambajului prin introducerea coeficientului φ.

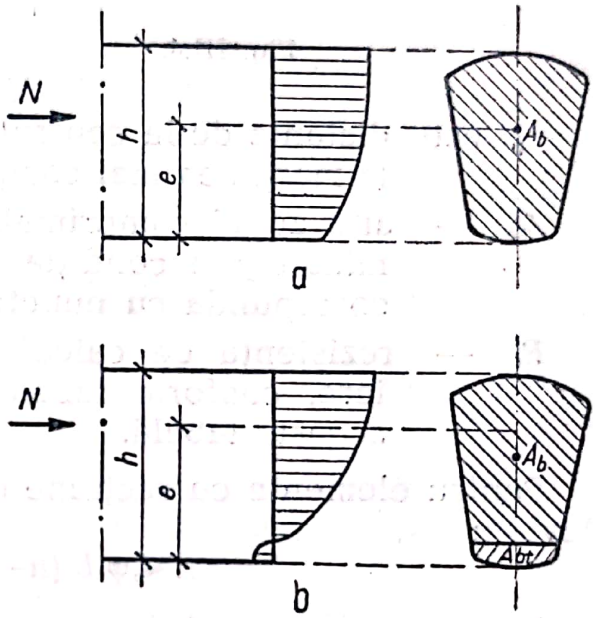


Fig. III.3.

Se poate utiliza relația:

$$N \leqslant \frac{\gamma \varphi A R_t}{\frac{A e_0}{W_{el}} - 1} \qquad \text{(III.4)}$$

în care γ este un coeficient care se ia din anexa III.

φ — coeficientul de flambaj, conform tabelei III.1;

A — aria secțiunii transversale;

W_{el} — modulul de rezistență al secțiunii (calculat elastic).

Pentru secțiuni dreptunghiulare, relația (III.4) devine:

$$N \leqslant 1{,}75\,\varphi \frac{bh\,R_t}{\frac{6e_0}{h} - 1}. \qquad \text{(III.4a)}$$

Valoarea rezistenței de calcul R_t se ia din tabela I.2.

Scanned with OKEN Scanner

Elementele de beton solicitate la compresiune excentrică cu excentricitate mare, care nu se află sub acțiunea unui mediu agresiv sau sub presiunea unui lichid și la care

$$e_0 \leqslant 0{,}9\, x_0,$$

se pot calcula cu relația:

$$N \leqslant \varphi\, A_b\, R_i. \qquad \text{(III.5)}$$

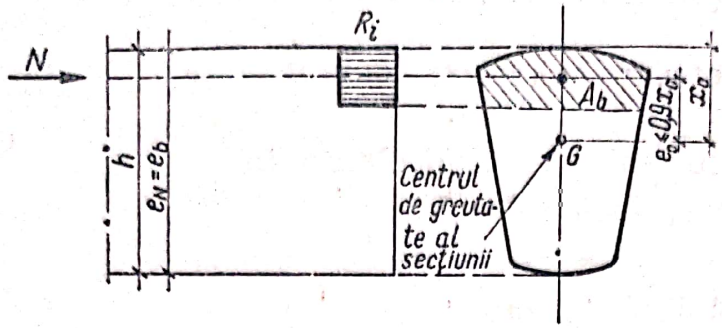


Fig. III.4.

În relațiile anterioare:

x_0 este distanța de la centrul de greutate al secțiunii pînă la marginea mai comprimată (fig. III.4);

A_b — aria zonei comprimate a secțiunii de beton determinată din condiția ca centrul ei de greutate să corespundă cu punctul de aplicare al forței N;

R_i — rezistența de calcul la compresiune din încovoiere, conform tabelei I.2 și a observației de la această tabelă.

Pentru elemente cu secțiune dreptunghiulară, relația (III.5) devine:

$$N \leqslant \varphi\, b\, (h - 2e_0)\, R_i. \qquad \text{(III.5a)}$$

Elementele de beton solicitate la compresiune excentrică cu excentricitate mică se calculează cu relația

$$N \leqslant \varphi\, R_{pr}\, \frac{S_0}{e}. \qquad \text{(III.6)}$$

unde e este distanța de la forța N la marginea întinsă, respectiv mai puțin comprimată a secțiunii, iar R_{pr} se ia conform tabelei I.2 și a observației de la această tabelă.

Pentru secțiuni dreptunghiulare, relația (III.6) devine:

$$N \leqslant 0{,}5\, \varphi\, R_{pr}\, \frac{bh^2}{e}. \qquad \text{(III.6a)}$$

b. *Exemple de calcul*

Exemplul III.4. Să se verifice secțiunea din exemplul III.2, ținînd seama și de acțiunea greutății proprii a zidului, cu

următoarele date suplimentare: înălțimea zidului $H=2{,}50$ m; zidul este liber la partea superioară; secțiunea de la partea superioară a zidului are lățimea de 20 cm, iar la bază 35 cm (fig. III.5).

Se menționează mai întîi că pentru un element de construcție solicitat la compresiune excentrică, avînd caracteristicile geometrice și marca de beton date, precum și momentul M dat, creșterea valorii lui N are efect favorabil.

Într-adevăr, considerînd $N_2>N_1$ și analizînd raportele dintre capacitatea portantă și solicitare:

$$A_1=\frac{1{,}75\,\varphi\dfrac{bh\,R_t}{6\dfrac{M}{N_1}-1}}{N_1}; \qquad \text{(III.7)}$$

$$A_2=\frac{1{,}75\,\varphi\dfrac{bhR_t}{6\dfrac{M}{N_2}-1}}{N_2}; \qquad \text{(III.7a)}$$

rezultă $A_2>A_1$.

În consecință încărcarea de calcul se va stabili luînd în considerație coeficienții de supraîncărcare subunitari:

$$N=0{,}9\times 2\,400\times 0{,}20\times 2{,}50+0{,}9\times 2\,400\,\frac{0{,}15}{2}\,2{,}50=$$

$$=1\,080+405=1\,485 \text{ kgf/m}.$$

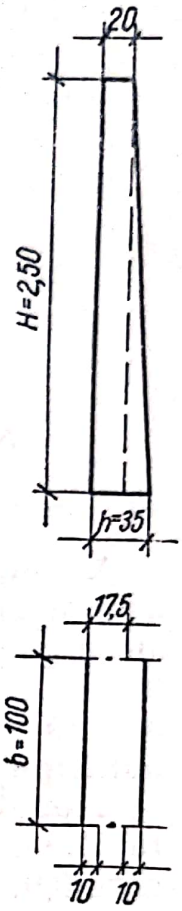


Fig. III.5.

Momentul încovoietor din greutatea proprie față de axa centrului de greutate a secțiunii de la baza zidului:

$$M_g=(1\,080-405)\,7{,}5=5\,060 \text{ kgfcm/m}=50{,}6 \text{ kgfm/m}.$$

Momentul încovoietor total:

$$M=1\,900-50{,}6\approx 1\,850 \text{ kgfm/m}.$$

$$e_0=\frac{M}{N}=\frac{1\,850}{1\,485}\approx 1{,}25 \text{ m; excentricitate mare.}$$

$$\frac{l_f}{h}=\frac{2H}{h}=\frac{2\times 2{,}50}{0{,}35}=14{,}3;\ \varphi=0{,}76 \text{ (din tabela III.1).}$$

$$N=1{,}75\frac{\varphi\,bh\,R_t}{6\dfrac{e_0}{h}-1}=1{,}75\times 0{,}76\frac{100\times 35\times 6}{6\dfrac{125}{35}-1}=$$

$$=1\,370 \text{ kgf}<1\,485 \text{ kgf}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Secțiunea de bază este insuficientă. Se mărește grosimea zidului la $h=40$ cm.

$$N=1\,080+0{,}9\times 2\,400\,\frac{0{,}20}{2}\,2{,}50=1\,080+540=1\,620 \text{ kgf/m};$$

$$M_g=1\,080\times 10-540\times 6{,}7=7\,200 \text{ kgfcm/m}=72 \text{ kgfm/m};$$

$$M=1\,900-72=1\,828 \text{ kgfm/m}.$$

$$e_0=\frac{1\,828}{1\,620}\approx 1{,}13 \text{ m}$$

$$\frac{l_f}{h}=\frac{2\times 2{,}50}{0{,}40}=12{,}5;\ \varphi=0{,}81$$

$$N=1{,}75\times 0{,}81\,\frac{100\times 40\times 6}{6\,\frac{113}{40}-1}=2\,130 \text{ kgf}>1\,620 \text{ kgf}.$$

Exemplul III.5. Să se refacă exemplul III.4, considerînd că asupra zidului acționează și o altă încărcare permanentă, în afara greutății proprii, avînd valoarea normată $N^n=1{,}2$ tf/m (coeficient de supraîncărcare 1,1, respectiv 0,9 în cazul unei acțiuni favorabile) și care poate fi considerată uniform distribuită pe secțiunea de la partea superioară a zidului.

Noua încărcare care se ia în considerație cu efect favorabil, se introduce în calcul prin coeficientul de supraîncărcare 0,9:

$$N=1\,485+0{,}9\times 1\,200=2\,565 \text{ kgf/m};$$

$$M=1\,850-0{,}9\times 1\,200\times 0{,}075=1\,769 \text{ kgfm/m}$$

$$e_0=\frac{1\,769}{2\,565}\approx 0{,}69 \text{ m}$$

$$N=1{,}75\times 0{,}76\,\frac{100\times 35\times 6}{6\,\frac{69}{35}-1}=2\,590 \text{ kgf}>2\,565 \text{ kgf}.$$

Zidul poate fi executat cu grosimea de 35 cm în secțiunea de la baza sa.

Exemplul III.6. Să se determine, pentru o secțiune dreptunghiulară solicitată la compresiune excentrică, cazurile în care calculul la încovoiere este acoperitor cînd se neglijează acțiunea forței axiale și respectiv a flambajului.

Pentru încovoiere:

$$M=\frac{bh^2R_t}{3{,}5}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru compresiune excentrică:

$$M=Ne_0=1{,}75\,\varphi\,\frac{bhR_t}{6\,\frac{e_0}{h}-1}\,e_0\,.$$

Calculul la încovoiere este acoperitor dacă:

$$1{,}75\,\varphi\,\frac{bhR_t}{6\,\frac{e_0}{h}-1}\,e_0>\frac{bh^2R_t}{3{,}5}\,.$$

Simplificînd:

$$\varphi>1-\frac{0{,}163}{\frac{e_0}{h}}\,.$$

Exemplul III.7. Să se refacă exemplul III.3 ţinînd seama de acţiunea greutăţii proprii a zidului, cunoscînd că înălţimea zidului este de 2,20 m şi că zidul este liber la partea superioară; secţiunea verticală prin zid, în dreptul contrafortului, este arătată în fig. III.6.

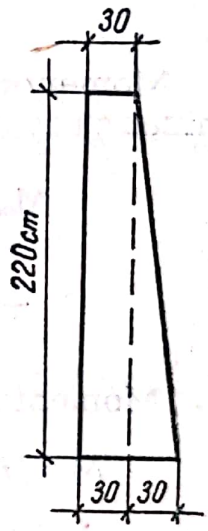


Fig. III.6.

Pentru secţiunea de calcul din fig. III.2, *b*:

$$N=0{,}9\times2\,400\times0{,}30\times1{,}50\times2{,}20+$$

$$+0{,}9\times2\,400\times0{,}3^2\,\frac{2{,}20}{2}=2\,140+214=2\,354\text{ kgf.}$$

$$M_g=2\,140\times0{,}05-214\times0{,}20\approx64\text{ kgfm;}$$

$$M=5\,400-64=5\,336\text{ kgfm}$$

$$e_0=\frac{M}{N}=\frac{5\,336}{2\,354}=2{,}265\text{ m; excentricitate mare.}$$

$$i=\sqrt{\frac{I}{A}}=\sqrt{\frac{108\times10^4}{5\,400}}=14{,}1\text{ cm}$$

$$\frac{l_f}{i}=\frac{2\times220}{14{,}1}=31{,}2;\ \varphi=0{,}89\text{ (din tabela III.1).}$$

Aplicînd relaţia (III.4), se deduce:

$$R_t\geq\frac{N\left(\frac{Ae_0}{W_{el}}-1\right)}{\gamma\varphi A}=\frac{2\,354\left(\frac{5\,400\times226{,}5}{54\times10^3}-1\right)}{1{,}75\times0{,}89\times5\,400}=6{,}07\text{ kgf/cm}^2.$$

Rezultă necesar să se utilizeze beton B 250, $R_t=7{,}0$ kgf/cm^2.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se folosesc direct ipotezele din fig. III.1, se poate scrie, ținînd seama de cele stabilite la exemplul III.3:

$$\frac{N(h-x)}{b_p R_t}+(h-x)^2=x^2-\left(1-\frac{b}{b_p}\right)(h-h_p)2x+\left(1-\frac{b}{b_p}\right)(h-h_p)^2$$

$$\xi=\frac{x}{h}=\frac{1-\left(1-\frac{b}{b_p}\right)\left(1-\frac{h_p}{h}\right)^2+\frac{N}{b_p h R_t}}{2\left[1-\left(1-\frac{b}{b_p}\right)\left(1-\frac{h_p}{h}\right)\right]+\frac{N}{b_p h R_t}}.$$

În cazul considerat (pentru B 200):

$$\frac{N}{b_p h R_t}=\frac{2\,354}{150\times 60\times 6}=0{,}0436$$

$$\xi=\frac{1-0{,}8\times 0{,}5^2+0{,}0436}{2(1-0{,}8\times 0{,}5)+0{,}0436}\approx 0{,}68.$$

$$x=\xi h=0{,}68\times 60=40{,}8\ \text{cm}.$$

Momentul eforturilor interioare față de axa neutră (determinat cu relația de la exemplul III.3, pentru $\xi=0{,}68$ și $\varphi=0{,}89$):

$$M_{cap}=0{,}89\ bh^2 R_t\left[\frac{5(1-0{,}68)^2}{2}+\frac{2}{3}\,\frac{0{,}68^3}{1-0{,}68}+\right.$$

$$\left.+\frac{2}{3}\,\frac{(5-1)\ (0{,}5-1+0{,}68)^3}{1-0{,}68}\right]=0{,}855\ bh^2 R_t.$$

Momentul exterior față de axa neutră:

$$M=N(e_0-h+x_g+x)=2\,354(226{,}5-60+20+40{,}8)=$$

$$=535\,000\ \text{kgf cm}.$$

Rezultă:

$$0{,}855\ bh^2 R_t>535\,000$$

$$R_t>\frac{535\,000}{0{,}855\times 30\times 60^2}\approx 5{,}8\ \text{kgf/cm}^2.$$

Se poate deci lucra cu beton B 200 și $R_t=6$ kgf/cm^2.

Exemplul III.8. Să se determine grosimea necesară pentru un zid de sprijin de secțiune dreptunghiulară executat din beton B 150, cunoscînd $l_f=4{,}80$ m și încărcările de calcul $M=1{,}0$ tfm/m; $N=9{,}5$ tf/m.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru grosimea zidului de 30 cm:

$$e_0 = \frac{100}{9,5} = 10,5 \text{ cm} > 0,225 \times 30 \text{ (excentricitate mare).}$$

$$\frac{l_f}{h} = \frac{4,80}{0,3} = 16 ; \varphi = 0,72 \text{ (din tabela III.1)}$$

$$N = 1,75 \times 0,72 \frac{100 \times 30 \times 4,5}{6 \frac{10,5}{30} - 1} = 15\,450 \text{ kgf} > 9\,500 \text{ kgf.}$$

Pentru înălțimea zidului de 25 cm:

$$\frac{l_f}{h} = \frac{4,80}{0,25} = 19,2; \varphi = 0,646$$

$$N = 1,75 \times 0,646 \frac{100 \times 25 \times 4,5}{6 \frac{10,5}{25} - 1} = 8\,570 \text{ kgf} < 9\,500 \text{ kgf.}$$

Secțiunea trebuie executată cu grosimea de 30 cm.

Dacă însă zidul poate lucra cu fisuri (la grosimea de 25 cm):

$$e_0 \leq 0,9 \times \frac{25}{2} = 11,25 \text{ cm.}$$

Deci se poate utiliza relația (III.5a):

$$N = \varphi b (h - 2e_0) R_i = 0,646 \times 100(25 - 2 \times 10,5) \times 0,7 \times 70 =$$

$$= 12\,650 \text{ kgf} > 9\,500 \text{ kgf.}$$

În acest caz zidul poate fi executat cu grosimea de 25 cm.

Armătura constructivă necesară:

$$A_a \geq 0,0005 \times 25 \times 100 = 1,25 \text{ cm}^2/\text{m.}$$

Exemplul III.9. Să se refacă exemplul III.8, însă cu $N = 50$ tf/m.

Pentru grosimea zidului de 25 cm:

$$e_0 = \frac{100}{50} = 2 \text{ cm} < 0,225 \times 30 \text{ (excentricitate mică).}$$

Se utilizează relația (III.6 a):

Scanned with OKEN Scanner

$$N = 0{,}5\,\varphi\,R_{pr}\,\frac{bh^2}{e} = 0{,}5 \times 0{,}646 \times 42\,\frac{100 \times 25^2}{2 + 12{,}5} =$$
$$= 58\,500 \text{ kgf/m} > 50\,000 \text{ kgf/m}.$$

4. Compresiune locală

a. *Relații de calcul*

Calculul la compresiune locală (fig. III.7) a zonelor de rezemare se face cu relația:

$$N \leqslant K\,A_l\,R_{pr}$$

$$\text{unde } K = \sqrt[3]{\frac{A}{A_l}}; \qquad \text{(III.8)}$$

R_{pr} este rezistența prismatică de calcul a betonului conform tabelei I.2, fără a lua în considerație coeficienții suplimentari ai condițiilor de lucru din observația de la această tabelă;

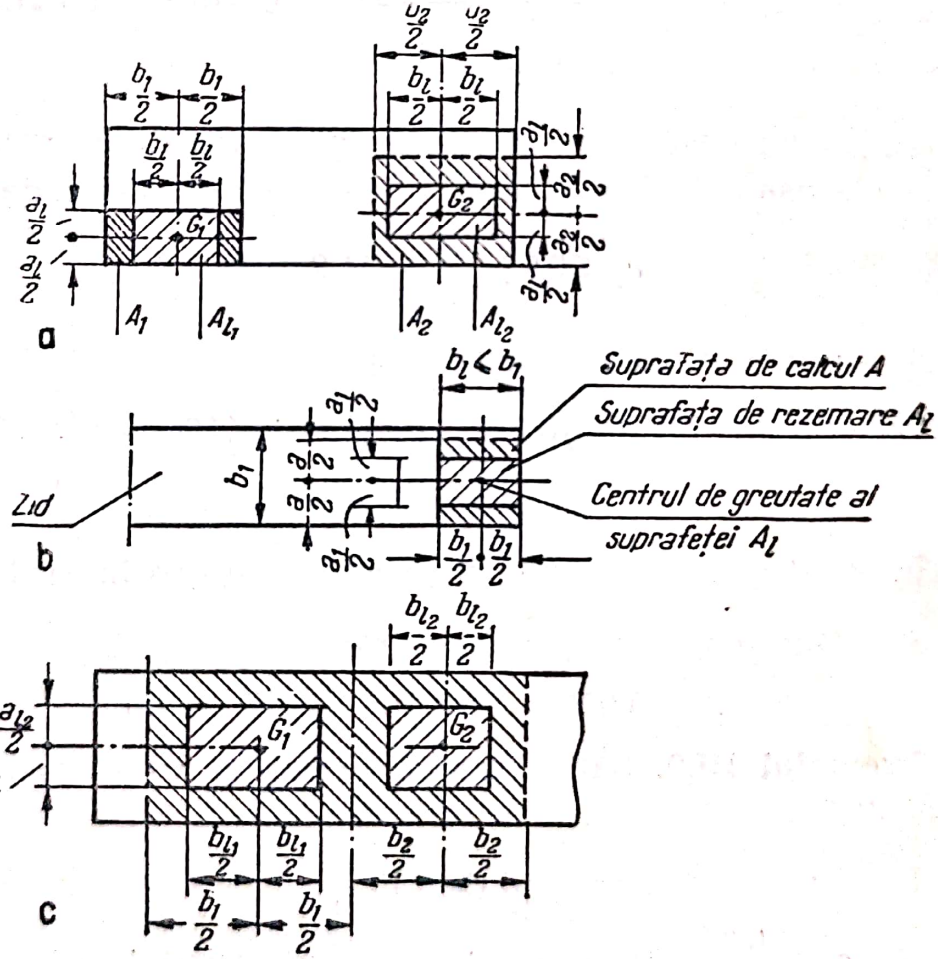


Fig. III.7.

A_l — aria suprafeței solicitate la compresiune locală;
A — aria totală a suprafeței de calcul.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă centrul de greutate al suprafeței A_l nu corespunde cu centrul de greutate al întregii suprafețe A sau cele două suprafețe nu au aceleași axe de simetrie, în calcul se ia numai partea din A care are același centru de greutate și aceleași axe de simetrie cu suprafața A_l (fig. III.7, *a*).

Valoarea coeficientului K nu va depăși:

— 1,5 dacă calculul se face numai la încărcarea locală;
— 2 dacă calculul se face la încărcarea locală plus celelalte încărcări;
— 1,25 dacă încărcarea locală este aplicată la capătul unui zid pe o lungime mai mică decît grosimea zidului (fig. III.7, *b*).

Dacă pe un același element de rezemare se aplică mai multe încărcări, la determinarea suprafețelor de calcul A nu se admite suprapunerea a două suprafețe alăturate (fig. III.7, *c*).

Prevederile prezentului paragraf se aplică și la calculul zonelor de rezemare sau de aplicare a unor forțe concentrate la elementele de beton armat și beton precomprimat, dacă în aceste zone nu se prevede o armare specială.

b. *Exemplu de calcul*

Exemplul III.10. Stîlpul unui cadru este articulat în fundație (fig. III.8). Secțiunea de la baza structurii este solicitată de o încărcare de calcul $N=40$ tf.

Să se determine marca minimă a cuzinetului fundației.

$$A=60\times 80=4\,800 \text{ cm}^2;$$

$$A_l=15\times 30=450 \text{ cm}^2.$$

$$\sqrt[3]{\frac{A}{A_l}}=\sqrt[3]{\frac{4\,800}{450}}=2{,}2.$$

Se va introduce $K=1{,}5$

Din relația (III.8) se deduce:

$$R_{pr}\geqslant\frac{N}{KA_l}=\frac{40\,000}{1{,}5\times 450}=59{,}2 \text{ kgf/cm}^2.$$

Se poate lucra cu B 150 și $R_{pr}=60$ kgf/cm^2.

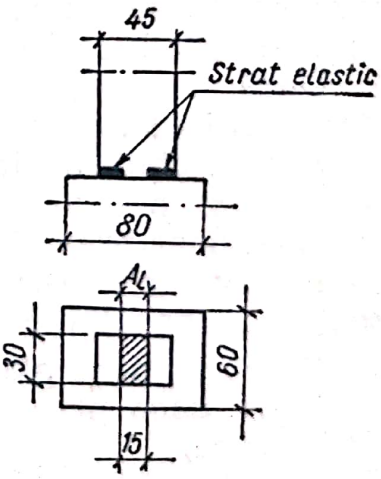


Fig. III.8.

Scanned with OKEN Scanner

IV

ELEMENTE DE BETON ARMAT COMPRIMATE CENTRIC

1. Stîlpi cu armături longitudinale și etrieri

a. *Relații de calcul*

În cazul stîlpilor cu armătură longitudinală și etrieri se folosește relația

$$N \leqslant (A_b R_{pr} + A_a R_a)\varphi, \qquad \text{(IV.1)}$$

în care: φ este coeficientul de flambaj;

A_b — aria secțiunii de beton care poate fi egală cu A, întreaga secțiune transversală a elementului, dacă procentul de armare nu depășește 3%, respectiv $A_b = A - A_a$ în cazul unui procent de armare ridicat.

Pentru determinarea coeficientului φ este necesar să se stabilească în primul rînd lungimea de flambaj a elementului care poate să nu fie aceeași în diferitele planuri după care se poate produce fenomenul.

Dacă nu se efectuează un calcul special de verificare a stabilității cadrelor se pot adopta prevederile următoare.

Pentru clădirile industriale neetajate cu acoperișuri rigide precum și pentru estacade, lungimile de flambaj se determină pe baza prevederilor din tabela IV.1.

În cazul clădirilor cu mai multe niveluri pentru stîlpii cu secțiunea constantă între două planșee, se poate considera:

$l_f = 0{,}7\,H$, dacă planșeele sînt executate monolit;

$l_f = H$, dacă planșeele sînt executate cu elemente prefabricate,

unde H este înălțimea stîlpului între două niveluri.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela IV.1

Lungimi de flambaj pentru stîlpii de beton armat ai construcţiilor industriale fără etaj cu planşee de acoperiş rigide şi pentru estacade

Elementele şi condiţiile de rezemare			Pentru calculul în planul elementelor portante ale acoperişului (ferme, arce etc.) sau în planul perpendicular pe axa estacadei	Pentru calculul în planul direcţiei longitudinale a clădirii sau în planul paralel cu axa estacadei	
				Cînd nu există legături în planul pentru care se face calculul	Cînd există legături în planul pentru care se face calculul
Stîlpii halelor cu pod rulant	Partea de sub calea de rulare	Pentru grinzi de rulare simplu rezemate	$1{,}5\ H_l$	$1{,}2\ H_l$	$0{,}8\ H_l$
		Pentru grinzi de rulare continue	$1{,}2\ H_l$	$0{,}8\ H_l$	
	Partea de deasupra căii de rulare	Pentru grinzi de rulare simplu rezemate	$2{,}5\ H_s$	$2\ H_s$	$1{,}5\ H_s$
		Pentru grinzi de rulare continue	$2\ H_s$	$1{,}5\ H_s$	
Stîlpii halelor fără pod rulant		În clădiri cu o singură deschidere	$1{,}5\ H$	$1{,}2\ H$	H
		În clădiri cu două sau mai multe deschideri	$1{,}2\ H$		
Stîlpii estacadelor deschise cu pod rulant		Pentru grinzi de rulare simplu rezemate	$2\ H_l$	$1{,}5\ H_l$	
		Pentru grinzi de rulare continue	$1{,}5\ H_l$	H_l	
Stîlpii estacadelor deschise pentru conducte		Cînd deschiderile construcţiei au rezemări articulate	$2\ H$	$2\ H$	H
		Cînd deschiderile construcţiei au rezemări rigide	$1{,}5\ H$	$1{,}5\ H$	$0{,}7\ H$

H este înălţimea totală a stîlpului, socotită de la partea superioară a fundaţiei (pînă la partea inferioară a elementelor de planşeu sau a grinzilor de legătură);

H_l — înălţimea porţiunii de stîlp de sub podul rulant, socotită de la partea superioară a fundaţiei pînă la partea inferioară a grinzii căii de rulare pentru construcţiile din elemente prefabricate, respectiv pînă

Scanned with OKEN Scanner

la partea superioară a grinzii căii de rulare pentru construcțiile turnate monolit;

H_s — înălțimea porțiunii de stîlp de deasupra podului rulant, socotită de la partea inferioară a grinzii căii de rulare pentru construcțiile din elemente prefabricate, respectiv de la partea superioară a grinzii căii de rulare pentru construcțiile turnate monolit.

Observații:

a) Valorile lungimilor de flambaj prevăzute în tabelă pot fi reduse, pe baza unui calcul mai exact, dar vor fi egale cel puțin cu H_i pentru stîlpii halelor cu pod rulant, respectiv H pentru stîlpii halelor fără pod rulant.

b) Valorile lungimilor de flambaj pentru stîlpii halelor cu pod rulant se vor întrebuința pentru acele combinații de calcul în care este luată în considerație încărcarea din pod rulant.

Pentru stîlpii clădirilor etajate avînd secțiunea variabilă între două planșee ca în fig. IV.1, lungimea de flambaj se determină:

— pe porțiunea inferioară $l_{f1}=\nu_1 h_1$;
— pe porțiunea superioară $l_{f2}=\nu_2 h_2$.

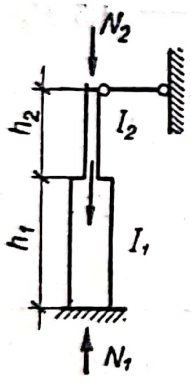


Fig. IV.1.

În tabela IV.2 sînt date valorile coeficienților ν_1 și ν_2 în funcție de: $\alpha=h_2/h_1$, $\beta=I_2/I_1$, $m=N_1/N_2-1$.

Pentru barele grinzilor cu zăbrele din beton armat se consideră următoarele lungimi de flambaj:

— pentru talpa comprimată, pentru diagonale și montanți în planul perpendicular pe planul grinzii $l_f=L$,
— pentru diagonale și montanți în planul grinzii $l_f=0{,}8\ L$, unde L este distanța dintre noduri.

Pentru arcele de beton armat fără tiranți de suspensie, în ipoteza flambajului în planul elementului se consideră:

— pentru arce cu trei articulații $l_f=0{,}58\ S$;
— pentru arce cu două articulații $l_f=0{,}54\ S$;
— pentru arce încastrate $l_f=0{,}36\ S$,

unde S este lungimea arcului măsurată de-a lungul axei sale.

Coeficienții de flambaj depind de raportul dintre lungimea de flambaj și caracteristicile geometrice ale secțiunii, precum și de durata de acționare a încărcării.

În tabela IV.3 sînt date valorile coeficientului de flambaj φ_{sd} pentru încărcări de scurtă durată și φ_{ld} pentru încărcări de lungă durată.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela IV.2

Coeficienții ν_1 și ν_2 pentru determinarea lungimilor de flambaj la stîlpi cu secțiune variabilă (cu o retragere)

α		0,1		0,2		0,3		0,4		0,5		0,6		0,7	
β	m	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1
0,1	0	2,60	0,83	1,91	1,21	1,65	1,57	1,50	1,90	1,35	2.14	1,21	2,33	1,10	2,46
	1	3,38	0,76	2,18	0,97	1,82	1,22	1,67	1,50	1,52	1,71	1,37	1,86	1,26	1,99
	2	4,00	0,73	2,40	0,88	1,97	1,08	1,83	1,33	1,67	1,53	1,53	1,69	1,40	1,80
	3	4,50	0,72	,66	0,84	2,12	1,01	1 96	1,25	1,82	1,44	1,65	1, 9	1,53	1,71
	4	5,00	0;71	2,85	0,81	2,.6	0,96	2,10	1,19	1,95	1,37	1,70	1,54	1,65	1,64
	5	5,40	0,70	3,02	0,78	2,38	0,93	2,22	1,15	2,07	1,34	1,89	1,48	1,76	1,58
	6	5,90	0,70	3,22	0,77	2,50	0,90	2,35	1,12	2,19	1,31	2,00	1,46	1,86	1,57
	7	6,20	0,69	3,40	0,76	2,60	0,88	2,46	1,10	2,30	1,28	2,11	1,43	1,96	1,54
0,2	0	3,54	0,79	2,20	0.98	1,83	1,23	1,63	1,46	1,50	1,67	1,39	1,85	1,30	2,02
	1	4,65	0,73	2,67	0,84	2,10	1,00	1.84	1,16	1,70	1,34	1,59	1,49	1,47	1,63
	2	5,50	0,71	3,03	0,78	2,34	0,91	2.00	1,03	1,88	1,20	1,76	1,41	1,65	1,48
	3	6,30	0,70	3,40	0,76	2,56	0,86	2,18	0,97	2,04	1,13	1,92	1,28	1,80	1,40
	4	7,00	0,69	3,70	0,74	2,75	0,83	2,34	0,93	2,20	1,09	2,06	1,23	1,93	1,34
	5	7,60	0,69	4.00	0,73	2.93	0,81	2,50	0,91	2,34	1,01	2,20	1,20	2,06	1,32
	6	8,15	0,69	4,30	0,72	3,10	0,79	2,63	0,89	2,47	1,04	2,33	1,18	2,18	1,29
	7	8,70	0,69	4,65	0,72	3,28	0,78	2,76	0,87	2,60	1,02	2,45	1,15	2,30	1,26
0,3	0	4,25	0,78	2,47	0,90	2,00	1,09	1,73	1,27	1,57	1,44	1,45	1,60	1,35	1,74
	1	5,60	0,73	3,05	0,79	2,34	0,91	2,00	1,02	1,80	1,16	1,67	1,30	1,56	1,41
	2	6,70	0,71	3,60	0,75	2,63	0,83	2,22	0,93	2,00	1,05	1,86	1,18	1,74	1,30
	3	7,40	0,70	4,00	0,74	2,90	0,80	2,42	0,88	2,18	1,00	2,00	1,12	1,90	1,22
	4	8,40	0,69	4,40	0,72	3,15	0,77	2,60	0,85	2,34	0,96	2,20	1,08	2,05	1,18
	5	9,20	0,69	4,80	0,71	3,10	0,76	2,80	0,85	2,50	0,94	2,34	1,05	2,20	1,15
	6	9,90	0,69	5,10	0,71	3,60	0,75	2,94	0,83	2,64	0,92	2,50	1,03	2,32	1,13
	7	10,60	0,69	5,45	0,70	3,80	0,74	3,10	0,80	2,80	0,90	2,60	1,01	2,46	1,11

Scanned with OKEN Scanner

Tabela IV.2 (continuare)

α		0,1		0,2		0,3		0,4		0,5		0,6		0,7	
β	m	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1	ν_2	ν_1
0,4	0	4,90	0,78	2,78	0,88	2,14	1,02	1,85	1,17	1,67	1,32	1,54	1,45	1,42	1,58
	1	6,50	0,73	3,50	0,79	2,56	0,86	2,15	0,96	1,93	1,08	1,76	1,19	1,65	1,29
	2	7,75	0,71	4,05	0,75	2,92	0,80	2,40	0,88	2,14	0,97	1,97	1,08	1,85	1,18
	3	8,80	0,70	4,60	0,73	3,23	0,77	2,65	0,84	2,35	0,93	2,15	1,03	2,00	1,13
	4	9,80	0,69	5,00	0,71	3,52	0,75	2,85	0,81	2,54	0,89	2,33	1,00	2,20	1,08
	5	10,70	0,69	5,50	0,71	3,80	0,74	3,07	0,79	2,70	0,87	2,50	0,97	2,34	1,06
	6	11,50	0,69	5,85	0,70	4,05	0,73	3,25	0,78	2,86	0,85	2,64	0,95	2,50	1,04
	7	12,20	0,69	6,15	0,70	4,30	0,72	3,40	0,77	3,00	0,84	2,78	0,94	2,60	1,02
0,5	0	5,50	0,78	3,00	0,86	2,35	0,99	1,95	1,10	1,72	1,22	1,60	1,35	1,47	1,47
	1	7,25	0,73	3,80	0,78	2,82	0,84	2,30	0,92	2,00	1,00	1,85	1,04	1,71	1,20
	2	8,70	0,71	4,50	0,74	3,24	0,79	2 60	0,85	2,26	0,93	2,09	1,02	1,92	1,11
	3	9,85	0,70	5,10	0,73	3,60	0,76	2,85	0,81	2,50	0,88	2,18	0,98	2,11	1,06
	4	10,90	0,69	5,55	0,71	3,96	0,75	3,10	0,79	2,68	0,85	2,50	0,94	2.28	1,02
	5	11,90	0,69	6,05	0,71	4,25	0,74	3,35	0,78	2,88	0,83	2,66	0,92	2,44	1.00
	6	12,80	0,68	6,50	0,70	4,55	0,73	3,55	0,76	3,05	0,82	2,83	0,91	2,60	0,98
	7	13,70	0,68	6,90	0,69	4,80	0,72	3,75	0,75	3,23	0,81	3,00	0,89	2,73	0,96
1	0	7,80	0,78	4,25	0,85	3,10	0,92	2,50	0,99	2,10	1,06	1,88	1,13	1,72	1,20
	1	10,30	0,73	5,40	0,77	3,80	0,81	3,00	0,85	2,50	0,90	2,25	0,96	2,05	1,01
	2	12,30	0,71	6,30	0,74	4,40	0,76	3,46	0,80	2,90	0,84	2,56	0,89	2,34	0,94
	3	14,00	0,70	7,20	0 72	4,90	0,74	3,90	0,77	3,20	0,81	3,85	0,86	2,58	0,90
	4	15,50	0,69	8,00	0,71	5,40	0,72	4,20	0,75	3,60	0,79	3,10	0,83	2,68	0,88
	5	16,90	0,69	8,60	0, 0	5,90	0,72	4,50	0,74	3,80	0,78	3,30	0,82	3 00	0,87
	6	18,20	0,69	9,20	0,70	6,30	0,71	4,90	0,73	4,10	0,77	3,60	0,81	3,22	0,85
	7	19,40	0,68	9,80	0,69	6,60	0,71	5,10	0,72	4,30	0,76	3,80	0,80	3,40	0,84

Scanned with OKEN Scanner

Tabela IV.3

Coeficienti de flambaj φ_{sd} și φ_{ld} pentru elemente de beton armat

$\frac{l_f}{b}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
$\frac{l_f}{D}$	8,6	10,4	12,1	13,8	15,6	17,3	19,1	20,8	22,5	24,3	26,0	27,7	29,4	31,2	32,8	34,6
$\frac{l_f}{i}$	34,6	41,6	48,5	55,4	62,3	69,3	76,2	83,1	90,1	97,0	104	111	118	125	132	139
φ_{sd}	1	0,96	0,92	0,88	0,84	0,79	0,75	0,70	0,65	0,61	0,56	0,51	0,47	0,42	0,38	0,34
φ_{ld}	1	0,96	0,92	0,86	0,77	0,69	0,61	0,54	0,46	0,40	0,34	0,29	0,24	0,19	0,15	0,12

Valorile φ_{sd} se aplică în cazul încărcărilor de scurtă durată (q_{sd}) precum și al încărcărilor de lungă durată (q_{ld}), a căror mărime nu depășește jumătate din încărcarea totală (q_t).

Valorile φ_{ld} corespund cazului în care încărcarea de lungă durată este egală cu încărcarea totală.

Pentru valori intermediare se interpolează între cele două limite folosindu-se relația:

$$\varphi = \varphi_{sd} + 2\left(\frac{q_{ld}}{q_t} - 0{,}5\right)(\varphi_{ld} - \varphi_{sd}) \qquad \text{(IV.2)}$$

sau valorile din tabela IV.4.

Sînt considerate încărcări de lungă durată:

— încărcările permanente;

Tabela IV.4

Coeficienți de flambaj pentru diferite rapoarte q_{ld}/q_t

$\frac{q_{ld}}{q_t}$	l_f/b															
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
—0,5	1	0,96	0,92	0,88	0,84	0,79	0,75	0,70	0,65	0,61	0,56	0,51	0,47	0,42	0,38	0,34
0,6				0,88	0,83	0,77	0,73	0,67	0,61	0,57	0,52	0,47	0,42	0,37	0,33	0,30
0,7				0,87	0,81	0,75	0,69	0,64	0,57	0,53	0,47	0,43	0,38	0,33	0,29	0,25
0,8				0,87	0,80	0,73	0,67	0,60	0,54	0,48	0,43	0,38	,33	0,28	0,24	0,21
0,9				0,86	0,78	0,71	,64	0,57	0,50	0,44	0,38	0,33	0,29	0,24	0,20	0,16
1				0,86	0,77	0,69	0,61	0,54	0,46	0,40	0,34	0,29	0,24	0,19	0,1.	0,12

Scanned with OKEN Scanner

— greutatea utilajelor fixe;

— întreaga încărcare temporară care poate să acționeze neîntrerupt timp de cel puțin 6 luni (de exemplu încărcarea utilă a bibliotecilor, a unor depozite etc.);

— încărcarea din zăpadă;

— încărcarea temporară care acționează asupra planșelor construcțiilor industriale și a elementelor la care aceste planșee transmit efectul încărcării, din care se scade 150 kgf/m^2.

Încărcarea suplimentară provenită din zăpadă în locurile de aglomerare a zăpezii este considerată încărcare de scurtă durată.

În mod practic, problemele care apar în calculul stîlpilor cu armătură longitudinală se soluționează astfel:

a) solicitarea de calcul se determină cu ajutorul relației:

$$N=\varphi(A_b R_{pr}+A_a R_a); \qquad \text{(IV.3)}$$

sau

$$N=\varphi A_b(R_{pr}+\mu R_a); \qquad \text{(IV.3a)}$$

b) secțiunea necesară de beton se determină cu relația

$$A_b=\frac{N/\varphi-A_a R_a}{R_{pr}}; \qquad \text{(IV.4)}$$

sau

$$A_b=\frac{N}{\varphi(R_{pr}+\mu R_a)}; \qquad \text{(IV.4a)}$$

c) secțiunea necesară de armătură se determină cu relația

$$A_a=\frac{N/\varphi-A_b R_{pr}}{R_a}. \qquad \text{(IV.5)}$$

La elementele armate cu profile laminate calculul se efectuează cu ajutorul relațiilor:

$$N\leqslant\varphi\,(A\,R_{pr}+A_a\,R_a+A_{ca}\,R_{ca}) \qquad \text{(IV.6)}$$

în cazul unui procent de armare sub 3% și

$$N\leqslant\varphi[A\,R_{pr}+(R_a-R_{pr})\,A_a+(R_{ca}-R_{pr})\,A_{ca}]. \qquad \text{(IV.7)}$$

Scanned with OKEN Scanner

în cazul unui procent de armare mai mare decît 3% din secțiunea totală a elementului.

În relațiile (IV.6) și (IV.7):

A este aria transversală totală a elementului;

A_{ax} și R_{ax} sînt secțiunea, respectiv rezistența de calcul corespunzătoare armăturii din profile laminate.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul IV.1. Să se determine încărcarea limită de calcul pentru un stîlp prefabricat, cunoscînd următoarele date: $l_x = l_{fy} = 5{,}00$ m; $A_b = 25 \times 40$ cm^2; $A_a = 6 \varnothing 16$; B 250 și OL 38; $q_{ld} = q_t$.

Cunoscînd

$$\frac{l_f}{b} = \frac{500}{25} = 20,$$

din tabela IV.3 rezultă $\varphi = 0{,}69$.

Rezistența de calcul a betonului, ținînd seama de coeficientul condițiilor de lucru (tabela I.3) este:

$$R_{pr} = 0{,}85 \times 100 = 85 \text{ kgf/cm}^2.$$

Secțiunea armăturii este egală cu 12,06 cm^2,
deci:

$$\mu = \frac{12{,}06}{25 \times 40} \times 100 = 1{,}21\%.$$

Încărcarea limită rezultă:

$$N = \varphi A_b (R_{pr} + \mu R_a) = 0{,}69 \times 25 \times 40 \left(85 + \frac{1{,}21}{100} \times 2\,100\right) =$$

$$= 76\,200 \text{ kgf}.$$

Exemplul IV.2. Să se dimensioneze un stîlp pentru o clădire cu mai multe niveluri executată monolit, avînd distanța dintre două planșee egală cu 6,00 m și folosind beton B 200 și armătură PC 52.

Pe baza încărcărilor de calcul provenite din multiplicarea încărcărilor normate cu coeficienții de supraîncărcare diferențiați, conform normativului P. 7-62, s-a calculat solicitarea de calcul $N = 136$ tf. În cadrul acesteia, solicitarea de calcul provenită din încărcările de lungă durată (permanente și tem-

Scanned with OKEN Scanner

porare) este de 100 tf iar cea provenită din încărcările de scurtă durată este de 36 tf.

Pentru dimensionare este necesar să se aleagă procentul de armare cel mai economic, apropiat de cel minim. Deoarece în mod curent la stîlpii de beton armat armarea constructivă întrece procentul minim de armare prevăzut în cap. II, se adoptă un procent minim frecvent realizabil între 0,4 și 0,5%.

Alegînd latura minimă a stilpului $b=40$ cm și procentul de armare $\mu=0{,}4\%$,

$$l_f=0{,}7\,l=0{,}7\times 6{,}00=4{,}20 \text{ m}$$

$$\frac{l_f}{b}=\frac{420}{40}=10{,}5$$

$$\frac{q_{ld}}{q_t}=\frac{100}{136}=0{,}73.$$

Din tabela IV.4 se obține $\varphi\approx 0{,}975$.

$$R_{pr}=0{,}85\times 80=68 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$A_b=\frac{N}{\varphi(R_{pr}+\mu R_a)}=\frac{136\,000}{0{,}975\,(68+0{,}004\times 2\,900)}=1\,755 \text{ cm}^2.$$

$$h=\frac{1\,755}{40}=44 \text{ cm}.$$

Se alege $h=45$ cm.

Secțiunea necesară de armătură rezultă:

$$A_a=\frac{\frac{N}{\varphi}-A_bR_{pr}}{R_a}=\frac{\frac{136\,000}{0{,}975}-40\times 45\times 68}{2\,900}=5{,}90 \text{ cm}^2.$$

Se aleg $4\varnothing 16$ ($A_a=8{,}04$ cm^2); procentul de armare realizat este $0{,}446\%$.

Exemplul IV.3. Să se determine armarea unui stîlp executat monolit cunoscînd: $l_f=5{,}00$ m; $A_a=20\times 80$; B 300 și OL 38.

Pe baza încărcărilor de calcul provenite din multiplicarea încărcărilor normate cu coeficienții de supraîncărcare determinați conform normativului P. 7-62 s-a calculat solicitarea de calcul totală $N=120$ tf. În cadrul acesteia, solicitarea de calcul provenită din încărcările de lungă durată (permanente și

Scanned with OKEN Scanner

temporare) este de 84 tf iar cea provenită din încărcările de scurtă durată este de 36 tf.

$$\frac{l_f}{b} = \frac{500}{20} = 25$$

$$\frac{q_{ld}}{q_t} = \frac{84}{120} = 0{,}7.$$

Din tabela IV.4 se obține $\varphi = 0{,}60$.

$$R_{pr} = 0{,}70 \times 130 = 91 \text{ kgf/cm}^2.$$

Secțiunea minimă necesară de armătură rezultă:

$$A_a = \frac{\frac{N}{\varphi} - A_b R_{pr}}{R_a} = \frac{\frac{120\,000}{0{,}6} - 20 \times 80 \times 91}{2\,100} = 25{,}9 \text{ cm}^2.$$

Se alege $4 \varnothing 25 + 4 \varnothing 14$ ($A_a = 25{,}8$ cm^2) și etrieri $\varnothing 7$ la 20 cm.

2. Stîlpi fretați

a. *Relații de calcul*

Dimensionarea stîlpilor fretați care îndeplinesc condițiile arătate în continuare se face cu ajutorul relației

$$N \leqslant A_{bs} R_{pr} + A_a R_a + 2{,}5 \; A_{cs} R_{as} \qquad \text{(IV.8)}$$

sau

$$N \leqslant A_{bs} (R_{pr} + \mu R_a + 2{,}5 \; \mu_s R_{as}) \qquad \text{(IV.8a)}$$

în care: A_{bs} este aria secțiunii de beton cuprinse în interiorul fretei (fig. IV.2);
A_{as} — secțiunea convențională a fretei determinată cu ajutorul relației:

$$A_{as} = \frac{\pi d_s A_s}{s} \qquad \text{(IV.9)}$$

în care: d_s este diametrul sîmburelui de beton fretat;
A_s — secțiunea transversală a fretei;
s — pasul fretei;
R_{as} — rezistența de calcul a oțelului folosit pentru fretă;

Scanned with OKEN Scanner

R_{pr} — rezistența prismatică de calcul ținînd seama de coeficientul condițiilor de lucru (tabela I.3).

$$\mu = \frac{A_a}{A_{bs}}; \quad \mu_s = \frac{A_{as}}{A_{bs}}.$$

Aplicarea relației (IV.8) sau (IV.8a) este admisă numai dacă se respectă următoarele condiții:

$$\frac{l_f}{D} \leqslant 8{,}6 \text{ respectiv } \frac{l_f}{i} \leqslant 34{,}6; \qquad \text{(IV.10)}$$

$$\frac{A_{as}}{A_a} \geqslant 0{,}25; \qquad \text{(IV.11)}$$

$$\frac{A_b}{A_{bs}} < 1 + 2{,}5 \quad \mu_s \frac{R_{as}}{R_{pr}}. \qquad \text{(IV.12)}$$

Dacă nu se respectă una dintre aceste condiții se va aplica relația (IV.1).

Armarea stîlpilor fretați trebuie să fie astfel aleasă încît să se respecte condiția:

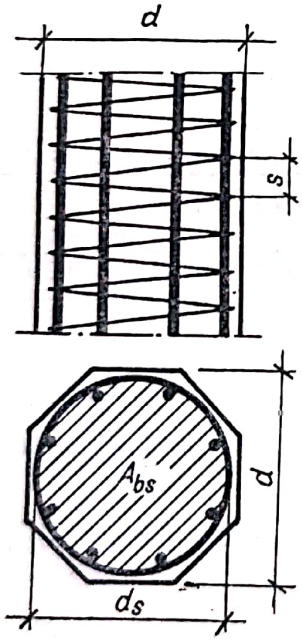


Fig. IV.2.

$$1 - 0{,}5\mu \frac{R_a}{R_{pr}} + 2{,}5\,\mu_s \frac{R_{as}}{R_{pr}} \leqslant 1{,}5 \frac{A_b}{A_{bs}}. \qquad \text{(IV.13)}$$

Pentru dimensionarea stîlpilor fretați se folosesc și relațiile:

$$A_{bs} = \frac{N}{R_{pr} + \mu R_a + 2{,}5\mu_s R_{as}}; \qquad \text{(IV.14)}$$

$$\mu = \frac{\frac{N}{A_{bs}} - R_{pr}}{R_a + 2{,}5\frac{\mu_s}{\mu} R_{as}}. \qquad \text{(IV.15)}$$

b. *Exemplu de calcul*

Exemplul IV.4. Să se dimensioneze un stîlp fretat avînd secțiunea circulară, executat monolit cu beton B 250, armătură longitudinală PC 52 și armături transversale OL 38, cunoscînd încărcarea de calcul $N = 225$ tf și $l_f = 4$ m.

Pentru armătura longitudinală s-ar putea adopta procentul minim de armare $\mu_a = 0{,}3\%$, fiind mai economic. Întrucît se

impune existența a cel puțin 6 vergele cu diametrul de 14 mm, se adoptă $\mu_a = 0{,}6\%$ iar $\mu_s = 0{,}8\%$.

$$R_{pr} = 0{,}85 \times 100 = 85 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$A_{bs} = \frac{N}{R_{pr} + \mu R_a + 2{,}5\mu_s R_{as}} = \frac{225\,000}{85 + \frac{0{,}6}{100} 2\,900 + 2{,}5 \frac{0{,}8}{100} 2\,100} =$$

$$= 1\,560 \text{ cm}^2.$$

$$d_s = \sqrt{\frac{4A_{bs}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1\,560}{3{,}14}} = 44{,}5 \text{ cm}.$$

Se alege $D = 50$ cm deci $l_f/D = \frac{400}{50} = 8 < 8{,}6$,

$$d_s = 50 - 2 \times 2{,}5 = 45 \text{ cm}.$$

$$A_{bs} = \frac{\pi d_s^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 45^2}{4} = 1\,590 \text{ cm}^2.$$

Fie

$$\frac{\mu_s}{\mu_a} = 1{,}35$$

$$\mu = \frac{\frac{N}{A_{bs}} - R_{pr}}{R_a + 2{,}5 \frac{\mu_s}{\mu} R_{as}} 100 = \frac{\frac{225\,000}{1\,590} - 85}{2\,900 + 2{,}5 \times 1{,}35 \times 2\,100} 100 = 0{,}57\%.$$

$$A_s = \mu A_{bs} = \frac{0{,}57}{100} 1\,590 = 9{,}06 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 6 ∅ 14 ($A_a = 9{,}25$ cm^2).

$$\mu_s = 1{,}35\mu = 1{,}35 \times 0{,}57 = 0{,}77\%$$

$$A_{as} = \mu_s A_{bs} = \frac{0{,}77}{100} 1\,590 = 12{,}25 \text{ cm}^2.$$

Se consideră diametrul fretei ∅ 8 mm, deci $A_s = 0{,}502$ cm^2.
În baza relației (IV.9) pasul fretei rezultă:

$$s = \frac{\pi d_s A_s}{A_{as}} = \frac{3{,}14 \times 45 \times 0{,}502}{12{,}25} = 5{,}8 \text{ cm};$$

se adoptă pasul de 5,5 cm.

$$A_{as} = \frac{\pi d_s A_s}{s} = \frac{3{,}14 \times 45 \times 0.502}{5{,}5} = 12{,}85 \text{ cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru verificare:

$$\mu\% = \frac{A_a}{A_{bs}} 100 = \frac{925}{1\,590} 100 = 0{,}58\,\%$$

$$\mu_s\,\% = \frac{A_{as}}{A_{bs}} 100 = \frac{12{,}85}{1\,590} 100 = 0{,}81\,\%$$

$$\frac{A_{as}}{A_a} = \frac{\mu_s}{\mu_a} = \frac{0{,}81}{0{,}58} = 1{,}4 > 0{,}25$$

$$\frac{A_b}{A_{bs}} < 1 + 2{,}5\,\mu_s \frac{R_{as}}{R_{pr}}$$

$$\frac{50^2}{45^2} < 1 + 2{,}5 \frac{0{,}81}{100} \frac{2\,100}{85}$$

$$1{,}11 < 1{,}5$$

$$1 - 0{,}5\mu \frac{R_a}{R_{pr}} + 2{,}5\mu_s \frac{R_{as}}{R_{pr}} \leqslant 1{,}5 \frac{A_b}{A_{bs}}$$

$$1 - 0{,}5 \frac{0{,}58}{100} \frac{2\,900}{85} + 2{,}5 \frac{0{,}81}{100} \frac{2\,100}{85} \leqslant 1{,}5 \frac{50^2}{45^2}$$

$$1{,}4 < 1{,}66.$$

Scanned with OKEN Scanner

V

ELEMENTE DE BETON ARMAT ÎNTINSE CENTRIC

a. *Calculul capacității portante*

Calculul capacității portante pentru elementele întinse centric se efectuează pentru încărcările de calcul cu ajutorul relației

$$nN^n = N \leqslant A_a R_a. \qquad (V.1)$$

Secțiunea de armătură necesară din calcul se determină cu ajutorul relației

$$A_a = \frac{N}{R_a}. \qquad (V.2)$$

b. *Calculul la apariția și deschiderea fisurilor*

Pentru construcțiile de beton armat, apariția fisurilor nu constituie o stare limită. Uneori este însă necesar să se cunoască solicitarea care produce apariția fisurilor într-un element întins centric.

Se admite că deformația de rupere prin întindere a betonului este de 0,1‰. Solicitarea axială la care un element fisurează se determină cu relația

$$N_f = A_a \sigma_a + A_b R_t. \qquad (V.3)$$

Folosind deformația limită amintită, efortul din armătură în momentul apariției fisurii devine:

$$\sigma_a = E_a \varepsilon_a = 200 \text{ kgf/cm}^2.$$

Solicitarea de fisurare se determină cu ajutorul relației

$$N_f = A_b R_t + 200 A_a. \qquad (V.4)$$

Scanned with OKEN Scanner

Distanța dintre fisuri se calculează cu relația

$$\lambda_f = \beta_f \frac{A_b}{U} \qquad (V.5)$$

în care:

$\beta_f = 1{,}3\left(0{,}5 + 30\frac{\mu}{d}\right)$ pentru armături din OL 38;

$\beta_f = 1{,}3\left(0{,}4 + 30\frac{\mu}{d}\right)$ pentru armături TOR 47 și TOR 57;

$\beta_f = 1{,}3\left(0{,}35 + 30\frac{\mu}{d}\right)$ pentru armături PC 52 și PC 60;

A_b este aria betonului;

U — perimetrul total al armăturii;

$\mu = \frac{A_a}{A_b}$;

d — diametrul vergelelor longitudinale, în cm.

Pentru armături cu diametre diferite se va înlocui:

$$\frac{\mu}{d} = \frac{U}{4A_b}.$$

Pentru plase sudate din sîrmă trasă mată $\beta_f = 0{,}9$.

Dacă acoperirea cu beton a armăturilor sau distanța dintre aceste armături (lumina) este mai mică decît 1,5 d sau în cazul așezării lor pe mai mult de două rînduri, valoarea calculată pentru β_f se sporește cu 30%.

Deschiderea fisurilor α_f se calculează cu ajutorul relației

$$\alpha_f = \lambda_f \frac{\psi \sigma_a}{E_a}, \qquad (V.6)$$

în care: λ_f este distanța dintre fisuri determinată cu relația (V.5).

σ_a — efortul unitar din armătură în secțiuni fisurate și care este egal cu

$$\sigma_a = \frac{N^n}{A_a}. \qquad (V.7)$$

Scanned with OKEN Scanner

Efortul unitar din armătură după apariţia fisurilor pentru solicitări normate mai poate fi determinat, aproximativ ca fiind egal cu raportul $\frac{R_a}{\overline{n}}$, R_a fiind rezistenţa de calcul a armăturii iar $\overline{n}$ coeficientul mediu de supraîncărcare determinat cu relaţia

$$\overline{n} = \frac{\Sigma n_i q_i}{\Sigma q_i}, \qquad \text{(V.8)}$$

unde n_i este coeficientul de supraîncărcare corespunzător fiecărei încărcări q_i (inclusiv greutatea proprie).

Valoarea coeficientului ψ se calculează cu ajutorul relaţiei

$$\psi = 1 - \overline{\beta} \frac{A_{bt} R_t^n}{A_a \sigma_a} \qquad \text{(V.9)}$$

în care coeficientul $\overline{\beta}$ are următoarele valori:

$\overline{\beta} = 0{,}2\ (1 - 0{,}6\ v)$ pentru armături din oţel OL 38;

$\overline{\beta} = 0{,}3\ (1 - 0{,}5\ v)$ pentru armături de oţel TOR 46, TOR 57, PC 52 şi PC 60;

unde v este raportul dintre încărcarea de lungă durată şi încărcarea totală (clasificarea încărcărilor de lungă durată este dată în cap. IV).

Deschiderea fisurilor la elementele întinse centric se limitează în funcţie de condiţiile de exploatare impuse pentru fiecare structură în parte.

Dacă nu există prescripţii speciale care să indice valorile limită ale deschiderii fisurilor, pot fi luate următoarele valori limită în elementele întinse centric:

0,10 mm — pentru elemente care se află sub presiunea unui lichid sau în condiţiile unui mediu agresiv;

0,20 mm — pentru elemente care se află sub presiunea unui material necoeziv (de exemplu silozurile);

0,3 mm — pentru celelalte tipuri de elemente.

c. *Exemple de calcul*

Exemplul V.1. Să se dimensioneze pereţii unei conducte forţate de apă, cu secţiune circulară şi un diametru mediu de 200 cm, care va suporta, în timpul exploatării normale, o presiune de 2,4 at.

Scanned with OKEN Scanner

Se apreciază că suprapresiunea nu poate depăși presiunea normală cu mai mult de 20%. Se folosește beton de marcă B 250 și armătură PC 52.

Solicitarea normată în pereții conductei pe un tronson de un metru lungime va fi:

$$N^n = \frac{p^n D}{2} 100 = \frac{2{,}4 \times 200}{2} \times 100 = 24\,000 \text{ kgf.}$$

Grosimea minimă a peretelui de beton se consideră 18 cm.

Folosind relațiile (V.5) și (V.6), după încercări succesive, se aleg 14 ∅ 14 din oțel PC 52 ($A_a = 21{,}55$ cm^2) pe un metru lungime de conductă.

Se verifică deschiderea fisurii:

$$\sigma_a = \frac{N^n}{A_a} = \frac{24\,000}{21{,}55} = 1\,130 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\beta_f = 1{,}3 \left(0{,}35 + 30 \frac{\frac{21{,}55}{1\,800}}{1{,}4} \right) = 0{,}79$$

$$\psi = 1 - \bar{\beta} \frac{A_b R_t^n}{A_a \sigma_a} = 1 - 0{,}15 \frac{1\,800 \times 19}{21{,}55 \times 1\,130} = 0{,}792$$

$\bar{\beta} = 0{,}3\ (1 - 0{,}5\ v) = 0{,}15$ deoarece $v = 1$

$$\alpha_f = \beta_f \frac{A_b}{U} \frac{\psi \sigma_a}{E_a} = 0{,}79 \frac{1\,800 \times 0.792 \times 1\,130}{61{,}1 \times 2\,100\,000} = 0{,}0985 \text{ mm} < 0{,}1 \text{ mm.}$$

Verificînd secțiunea pentru starea limită de rezistență se obține:

$$21{,}55 \times 2\,900 = 62\,500 > 1{,}2 \times 24\,000 = 28\,800 \text{ kgf.}$$

Exemplul V.2. Să se dimensioneze și să se verifice deschiderea fisurilor într-un tirant solicitat la întindere centrică cunoscînd: solicitarea de calcul $N = 65$ tf; coeficientul mediu de supraîncărcare $n = 1{,}25$; raportul dintre încărcarea de lungă durată și încărcare totală $v = 0{,}4$; se lucrează cu beton B 200 și cu oțel PC 60.

Folosind relația (V.2):

$$A_a = \frac{65\,000}{3\,400} = 19{,}1 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 6 ∅ 20 ($A_a = 18{,}85$ cm^2).

Scanned with OKEN Scanner

Asigurîndu-se acoperirile de beton și distanțele minime dintre bare se alege secțiunea de beton: $b=18$ cm, $h=12$ cm.

Avînd:

$$\mu = \frac{18{,}85}{12 \times 18} = 0{,}0872$$

$$\beta_f = 1{,}3\left(0{,}35 + 30\frac{0{,}0872}{2}\right) = 2{,}16$$

$$\overline{\beta} = 0{,}3\,(1 - 0{,}5\,v) = 0{,}24$$

$$\sigma_a = \frac{3\,400}{1{,}25} = 2\,720 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\psi = 1 - 0{,}24\,\frac{12 \times 18 \times 16}{18{,}85 \times 2\,720} = 0{,}98.$$

Se obține:

$$\alpha_f = \beta_f\,\frac{A_b\psi\,\overline{\sigma}_a}{UE_a} = 2{,}16\,\frac{12 \times 18 \times 0{,}98 \times 2\,720}{37{,}68 \times 2\,100\,000} = 0{,}157 \text{ mm} < 0{,}3 \text{ mm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

VI

ELEMENTE DE BETON ARMAT ÎNCOVOIATE

A. CALCULUL ÎN SECȚIUNI NORMALE PE AXA ELEMENTULUI

În majoritatea cazurilor secțiunile elementelor de beton armat supuse la încovoiere sînt simetrice în raport cu planul forțelor. Dacă planul de acționare al forțelor este înclinat față de planul de simetrie, elementele sînt solicitate la încovoiere oblică.

Secțiunile elementelor de beton armat încovoiate pot fi simplu sau dublu armate.

1. Calculul secțiunilor simetrice de orice formă

a. *Secțiuni simplu armate*

Elementele cu secțiune simetrică de orice formă, simplu armate, se calculează în secțiuni normale pe axa elementului cu relația

$$M \leqslant S_b R_i. \qquad \text{(VI.1)}$$

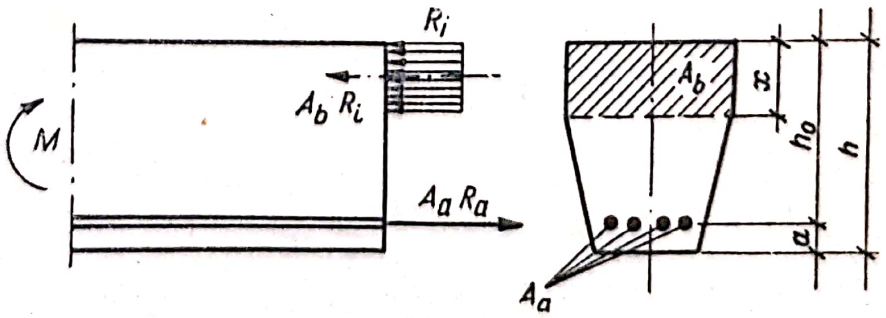


Fig. VI.1.

Scanned with OKEN Scanner

Poziția axei neutre se determină din ecuația de proiecție cu formula

$$A_b R_i = A_a R_a. \qquad \text{(VI.2)}$$

În fig. VI.1 se arată distribuția convențională de eforturi în stadiul limită de rupere.

După determinarea poziției axei neutre trebuie să se verifice relația

$$S_b \leqslant 0{,}8\ S_0 \qquad \text{(VI.3)}$$

în care: S_b este momentul static al zonei comprimate de beton față de centrul de greutate al armăturii întinse;

S_0 — momentul static al secțiunii utile de beton (de înălțime h_0) față de centrul de greutate al armăturii întinse.

Plecînd de la relația (VI.3) se determină valoarea procentelor maxime de armare. Pentru procentele de armare mai mari decît procentele maxime, calculate pe baza relațiilor anterioare, ruperea se produce prin strivirea betonului comprimat, fără ca armătura să intre în curgere.

Procentul minim de armare, conform normativului P. 8-62, se ia în funcție de marca betonului.

Aceste procente minime de armare pot fi reduse la jumătate cînd calculul elementelor se face luînd în considerație contracția și curgerea lentă a betonului, precum și efectul variațiilor de temperatură.

Valorile procentelor minime de armare depind și de tipul armăturii. În tabela VI.1 se indică procentele minime de armare calculate pentru secțiunile dreptunghiulare pe baza relației

$$\mu_{min} = \frac{R_i}{R_a}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{1{,}75}\,\frac{R_t}{R_i}}\right). \qquad \text{(VI.4)}$$

Tabela VI.1

Procentele minime de armare, μ_{min} %

R_a kgf/cm²	B 100	B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500	B 600
2 100	0,055	0,072	0,095	0,108	0,137	0,150	0,178	0,186
2 800	0,041	0,054	0,071	0,081	0,103	0,112	0,134	0,140
2 900	0,039	0,052	0,069	0,079	0,099	0,108	0,129	0,135
3 400	0,034	0,044	0,059	0,067	0,085	0,093	0,110	0,115

Scanned with OKEN Scanner

Pentru procente de armare inferioare valorilor minime admise pentru betonul armat, elementele devin de beton slab armat și se calculează diferit.

Procentele minime de armare indicate în normativul P. 8-62 sînt stabilite acoperitor (v. cap. II,1, b).

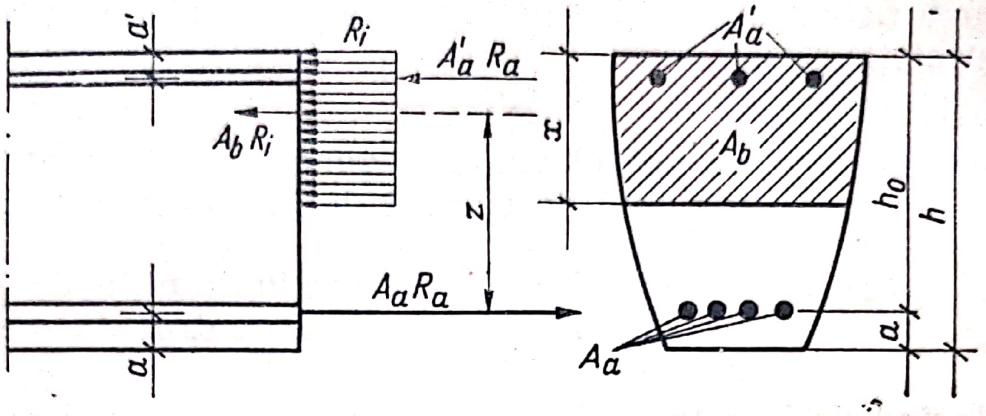


Fig. VI.2.

Pentru secțiuni T procentul de armare se calculează față de secțiunea bh_0 a inimii.

b. *Secțiuni dublu armate*

Elementele cu secțiune simetrică de orice formă, dublu armate (fig. VI.2), se calculează în secțiuni normale pe axa elementului cu relația:

$$M \leqslant S_b R_i + A'_a R_a (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.5)}$$

Poziția axei neutre se determină din ecuația de proiecție cu formula:

$$A_b R_i = (A_a - A'_a) R_a. \qquad \text{(VI.6)}$$

În afara condiției (VI.3) secțiunile dublu armate trebuie să mai satisfacă și condiția

$$z \leqslant h_0 - a' \qquad \text{(VI.7)}$$

în care: z reprezintă distanța de la centrul de greutate al zonei comprimate de beton pînă la centrul de greutate al armăturii întinse. Elementele ale căror secțiuni nu respectă condiția (VI.7) se calculează cu ajutorul relației:

$$M \leqslant A_a R_a (h_0 - a'), \qquad \text{(VI.8)}$$

Capacitatea portantă a secțiunii se consideră egală cu valoarea rezultată din relația (VI.8), însă cel puțin egală cu capacitatea portantă calculată ca pentru o secțiune simplu armată, neglijîndu-se aportul armăturii din zona comprimată.

Scanned with OKEN Scanner

Elementele dublu armate sînt în general neeconomice și se recomandă să se realizeze numai în cazurile cînd secțiunile sînt solicitate de momente de semn schimbat sau cînd momentul capabil nu se poate mări prin sporirea înălțimii secțiunii, gabaritul elementelor fiind impus.

Momentul preluat de zona comprimată de beton și de armătura corespunzătoare acestei zone $A_{a1} = A_a - A'_a$ se recomandă să fie egal cu momentul maxim capabil $M_1 = 0{,}8\ S_0\ R_i$.

Secțiunile dublu armate se recomandă să respecte și condiția

$$M \leqslant S_0\ R_i. \qquad \text{(VI.8)}$$

Rezultă deci că valoarea maximă a momentului preluat de armătura comprimată și de o secțiune echivalentă cu A'_a din armătura întinsă este de $0{,}2\ S_0\ R_i$.

c. *Secțiuni de orice formă supuse încovoierii oblice*

O serie de elemente de beton armat ca panele de acoperiș, grinzile de rulare etc. pot fi supuse atît unor solicitări

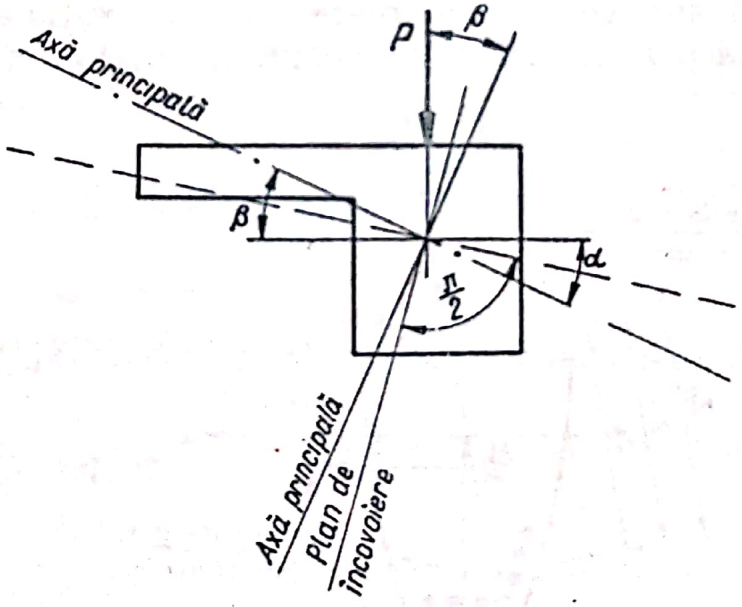


Fig. VI.3.

verticale, cît și unor solicitări orizontale. De obicei elementele au un plan de simetrie, iar planul de acționare al forțelor face cu planul de simetrie un unghi β (fig. VI.3 și VI.4).

În calculul la încovoiere oblică pe secțiuni normale, solicitarea este determinată prin valoarea M a momentului și valoarea unghiului β sau prin momentele M_x și M_y care acționează în plane normale pe axa x respectiv y.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel se pot scrie relaţiile:

$$M_x = M \cos \beta; \quad M_y = M \sin \beta$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{M_y}{M_x}; \qquad M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}. \tag{VI.9}$$

în care: M_x este momentul forţelor cuprinse în planul de simetrie al grinzii, deci orientate după direcţia y;

M_y — momentul forţelor cuprinse în planul normal pe planul de simetrie al grinzii, deci orientate după direcţia x.

La solicitarea de încovoiere oblică axa neutră a secţiunii nu mai este perpendiculară pe axa de simetrie; ea face cu orizontala un unghi oarecare α. Deoarece, de regulă, momentele de inerţie faţă de axele x şi y sînt diferite, unghiul α rezultă diferit de β. Axa neutră se înclină totdeauna, faţă de linia normală pe planul de acţionare al forţelor, spre axa cu moment de inerţie minim.

Pentru calculul la starea limită de rupere a grinzilor de beton armat supuse la încovoiere oblică, poziţia axei neutre se determină prin încercări succesive. Poziţia axei neutre tre-

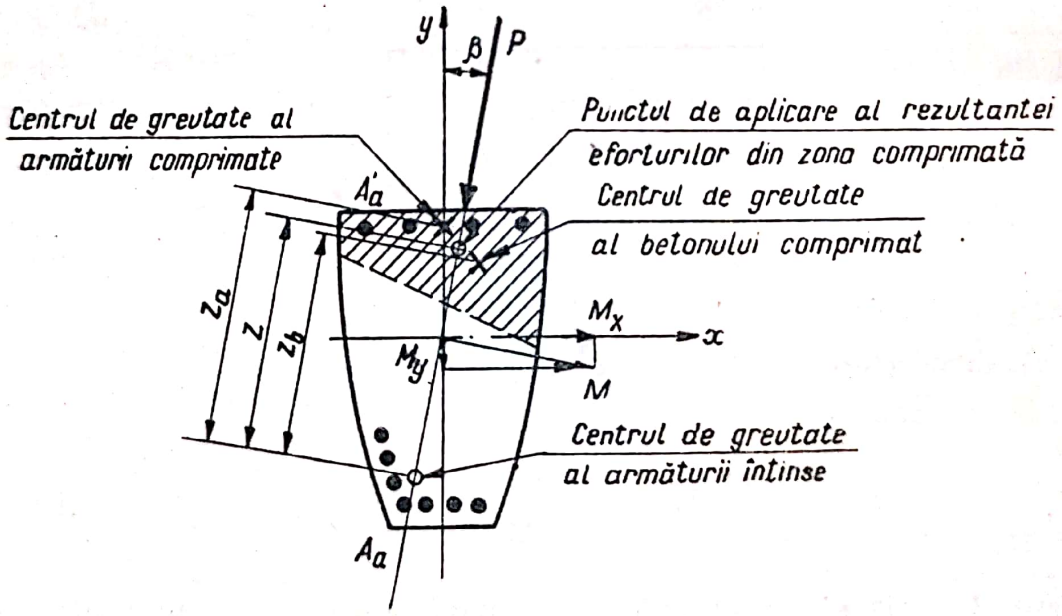


Fig. VI.4.

buie astfel aleasă încît centrul de greutate al armăturii întinse şi centrul de greutate al zonei comprimate să se găsească în planul de acţionare al forţelor (fig. VI.4). În secţiunea transversală trebuie să fie îndeplinită condiţia (VI.6).

Scanned with OKEN Scanner

Momentul capabil se determină cu ajutorul relației:

$$M \leqslant A_b R_i z_b + A'_a R_a z_a. \qquad \text{(VI.10)}$$

În secțiunea transversală trebuie să se examineze dacă este satisfăcută condiția:

$$z_b \leqslant z_a \qquad \text{(VI.11)}$$

în care: z_b este distanța dintre centrul de greutate al zonei comprimate de beton și rezultanta eforturilor din armătura întinsă;

z_a — distanța dintre rezultanta eforturilor din armătura comprimată și rezultanta eforturilor din armătura întinsă.

Dacă nu este satisfăcută condiția (VI.11), calculul se face ca pentru o secțiune simplu armată, neglijînd aportul armăturii comprimate A'_a.

Dacă secțiunea nu are o axă de simetrie, trebuie determinate axele principale de inerție. Unghiul format de planul de acționare al forțelor cu planul principal reprezintă unghiul ß. Se întîlnesc frecvent secțiuni nesimetrice la nervurile de margine dar ținînd seama de legătura rigidă cu placa și de eventuala rigidizare prin nervuri perpendiculare, calculul se face considerîndu-se că încovoierea se produce numai în planul vertical.

2. Calculul secțiunilor dreptunghiulare simplu armate

a. *Relații de calcul*

Elementele încovoiate de beton armat cu secțiunea dreptunghiulară, simplu armate (fig. VI.5), se calculează în secțiuni normale cu relația

$$M \leqslant bxR_i\left(h_o - \frac{x}{2}\right). \qquad \text{(VI.12)}$$

Înălțimea x a zonei comprimate de beton se determină din ecuația de proiecție cu ajutorul relației

$$bx\,R_i = A_a\,R_a. \qquad \text{(VI.13)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru secțiunile dreptunghiulare condiția (VI.3) se poate scrie simplificat sub forma

$$x \leqslant 0{,}55\ h_0. \tag{VI.14}$$

Din relația (VI.13) se deduce:

$$\xi = \mu \frac{R_a}{R_i} = \frac{x}{h_0} \tag{VI.15}$$

în care:

$$\mu = \frac{A_a}{bh_0} \text{ (procentul de armare).}$$

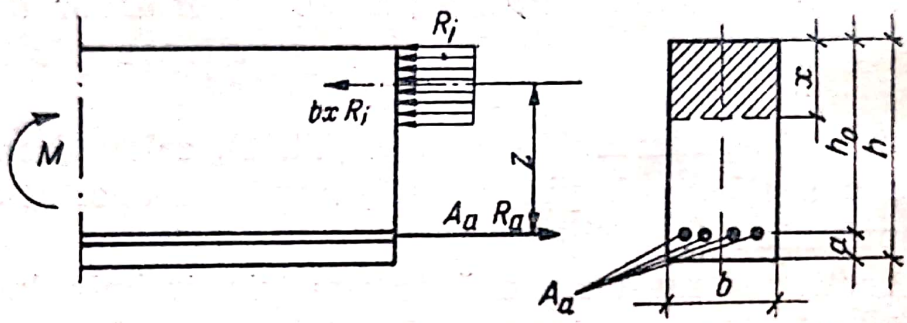


Fig. VI.5.

Ținînd seama de relația (VI.14) se poate determina procentul maxim de armare

$$\mu_{max} = 0{,}55 \frac{R_i}{R_a} \tag{VI.16}$$

În tabela VI.2 se dau valorile procentelor maxime de armare pentru diferite mărci de betoane și diverse tipuri de armături.

Tabela VI.2

Procentele maxime de armare pentru elementele încovoiate cu secțiune dreptunghiulară

$$\mu_{max}\,\% = 55 \frac{R_i}{R_a}$$

Tipul armăturii	Marca betonului							
	100	150	200	250	300	400	500	600
OL 38	1,44	2,10	2,62	3,14	4,18	5,50	6,55	7,33
TOR 47	1,08	1,57	1,96	2,36	3,14	4,12	4,91	5,50
PC 52	1,04	1,52	1,90	2,28	3,03	3,98	4,74	5,30
PC 60, TOR 57	0,89	1,30	1,62	1,94	2,59	3,40	4,05	4,53

Scanned with OKEN Scanner

Pentru procentul maxim de armare momentul încovoietor preluat de secțiunea dreptunghiulară este egal cu $0,4\ bh_0^2R_i$. Într-adevăr:

$$M = bxR_i\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) = bh_0^2R_i\xi\left(1 - \frac{\xi}{2}\right).$$

Pentru $\xi = 0,55$ rezultă:

$$\xi\left(1 - \frac{\xi}{2}\right) = 0,55\ (1 - 0,275) = 0,55 \times 0,725 \approx 0,4.$$

Deci

$$M_{max} = 0,4\ bh_0^2R_i. \qquad \text{(VI.17)}$$

Momentul capabil poate fi determinat și în funcție de rezultanta eforturilor din armături prin ecuația de moment în raport cu centrul de greutate al zonei comprimate

$$M = A_a\ R_a\ z \qquad \text{(VI.18)}$$

în care:

$$z = h_0 - \frac{x}{2}.$$

Calculul elementelor încovoiate de secțiune dreptunghiulară, simplu armate, se recomandă să se efectueze cu ajutorul tabelelor VI.3, VI.4, VI.5 și VI.6.

Tabelele conțin valorile coeficienților $\zeta = z/h_0$, r și B, în funcție de procentul de armare și pot fi folosite pentru calculul secțiunilor dreptunghiulare, T, I sau casetate de beton armat, din betoane de marcă B 100, B 150, B 200, B 250, B 300, B 400, B 500, B 600 și pentru armături de tip OL 38, TOR 47, TOR 57, PC 52, PC 60.

În afară de aceste tabele se mai poate folosi și tabela VI.7 unde se dau valorile coeficienților ξ, r_0, ζ și B_0 pentru calculul secțiunilor de beton, cu armături de orice marcă. În completare se dau și valorile procentelor de armare determinate cu relația (VI.19) pentru toate tipurile de armături și mărcile uzuale de beton.

$$\mu\,\% = \xi\frac{R_i}{R_a}\,100. \qquad \text{(VI.19)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.3

Tabelă pentru calculul secţiunilor dreptunghiulare, T, I sau casetate, armate cu bare OL 38, R_a =2 100 kgf/cm²

μ %	B 100, R_i=55 kgf/cm²			B 150, R_i=80 kgf/cm²			B 200, R_i=100 kgf/cm²			B 250, R_i=120 kgf/cm²			B 300, R_i=160 kgf/cm²			μ %
	r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B	
0,04	1,095	0,981	0,83	1,094	0,987	0,836	1,094	0,984	0,837	1,098	0,987	0,83	1,093	0,987	0,83	0,04
0,06	0,896	0,981	1,25	0,894	0,987	1,25	0,893	0,984	1,25	0,897	0,987	1,24	0,892	1,987	1,26	0,06
0,08	0,777	0,981	1,65	0,75	0,987	1,66	0,774	0,984	1,67	0,777	0,987	1,66	0,773	0,987	1,67	0,08
0,10	0,697	0,981	2,06	0,695	0,987	2,08	0,694	0,984	2,08	0,695	0,987	2,07	0,693	0,987	2,08	0,10
0,12	0,637	0,977	2,46	0,635	0,984	2,48	0,634	0,984	2,49	0,634	0 987	2,49	0,632	0,987	2,49	0,12
0,14	0,581	0,973	2,86	0,588	0,982	2,89	0,587	0,984	2,90	0,587	0,987	2,90	0,586	0,987	2,92	0,14
0,15	0,572	0,971	3,06	0,569	0,980	3,09	0,568	0,984	3,10	0,567	0,987	3,11	0,566	0,987	3,12	0,15
0,16	0,554	0,969	3,26	0,551	0,979	3,29	0,550	0,983	3,30	0,549	0,986	3,31	0,548	0,987	3,32	0,16
0,18	0,523	0,966	3,65	0,520	0,976	3,69	0,519	0,981	3,71	0,518	0,984	3,72	0,516	0,987	3,75	0,18
0,20	0,497	0,962	4,04	0,494	0,974	4,09	0,493	0,979	4,11	0,492	0,982	4,13	0,492	0,987	4,14	0,20
0,25	0,447	0,952	5,00	0,443	0,967	5,08	0,442	0,974	5,11	0,441	0,978	5,13	0,440	0,984	5,16	0,25
0,30	0,410	0,943	5,94	0,406	0,961	6,06	0,404	0,969	6,10	0,404	0,974	6,13	0,402	0,980	6,18	0,30
0,35	0,382	0,933	6,86	0,377	0,954	7,01	0,375	0,963	7,08	0,375	0,969	7,12	0,373	0,977	7,18	0,35
0,40	0,359	0,924	7,76	0,354	0,948	7,96	0,352	0,958	8,05	0,351	0,965	8,11	0,350	0,974	8,18	0,40
0,45	0,340	0,914	8,64	0,335	0,941	8 89	0,333	0,953	9,00	0,332	0,961	9,08	0,331	0,971	9,16	0,45
0,50	0,324	0,905	9,50	0,319	0,934	9,81	0,316	0,948	9,95	0,316	0,956	10,04	0,314	0,967	10,15	0,50
0,55	0,311	0,895	10,34	0,305	0,928	10,72	0,303	0,942	10,88	0,302	0,952	10,99	0,300	0,964	11.14	0,55
0,60	0,299	0,885	11,16	0,293	0,922	11,62	0,291	0,937	11,81	0,289	0 947	11,94	0,287	0,961	12,10	0,60
0,65	0,289	0 876	11,96	0,283	0,915	12,48	0,280	0,932	12,72	0,279	0,943	12,87	0,277	0,957	13,07	0,65
0,70	0,280	0,866	12,74	0,273	0,908	13,35	0,270	0,927	13,62	0,269	0,939	13,80	0,267	0,954	14,01	0,70
0,75	0,272	0,857	13,49	0,265	0,902	14,20	0,262	0,921	14,51	0,261	0,934	14,72	0,259	0,951	14,97	0,75
0,80	0,265	0,847	14,23	0,257	0,895	15,04	0,254	0,916	15,39	0,253	0,930	15,62	0,251	0,948	15,92	0,80
0,85	0,259	0,838	14,95	0,251	0,888	15,86	0,248	0,911	16,26	0,246	0,926	16,52	0,244	0,944	16,85	0,85
0,90	0,253	0,828	15,65	0,244	0,882	16,67	0,241	0,906	17,11	0,240	0,921	17,41	0,237	0,941	17.78	0,90
0,95	0,247	0,819	16,33	0,239	0,875	17,46	0,235	0,900	17,96	0,234	0,917	18,29	0,231	0,938	18,69	0,95

Scanned with OKEN Scanner

1,00	0,242	0,809	16,99	0,234	0,869	18,24	0,230	0,895	18,80	0,228	0,912	19,16	0,226	0,934	19,61	1,00
1,10	0,234	0,790	18,25	0,224	0,856	19,77	0,223	0,885	20,43	0,219	0,904	20,88	0,216	0,928	21,42	1,10
1,20	0,227	0,771	19,43	0,217	0,843	21,23	0,213	0,874	22,02	0,211	0,895	22,55	0,208	0,921	23,20	1,20
1,30	0,221	0,752	20,52	0,210	0,829	22,64	0,205	0,864	23,57	0,203	0,886	24 19	0,200	0,915	24,97	1,30
1,40	0,215	0,733	21,54	0,204	0,816	24,00	0,199	0,853	25,08	0,197	0,877	25,80	0,194	0,908	26,69	1,40
1,50				0,199	0,803	25,30	0,194	0,843	26,54	0,191	0,869	27,36	0,188	0,902	28,39	1,50
1,60	$\mu_{max} = 1,44\%$			0,194	0,790	26,54	0,189	0,832	27,96	0,186	0,860	28,90	0,173	0,895	30,06	1,60
1,70	0,212	0,725	21,93	0,189	0,777	27,73	0,184	0,822	29,33	0,181	0,851	30,39	0,178	0,889	31,70	1,70
1,80				0,186	0,764	28,87	0,180	0,811	30,66	0,177	0,842	31,85	0,173	0,882	33,33	1,80
1,90				0,184	0,751	29,25	0,176	0,801	31,94	0,173	0,834	33,27	0,170	0,875	34,92	1,90
2,00				0,179	0,738	30,98	0,173	0,790	33,18	0,170	0,825	34,65	0,166	0 869	36,48	2,00
2,10							0,170	0,780	34,38	0,167	0,816	36,00	0,162	0,862	38,01	2,10
2,20				$\mu_{max}=2,10\%$			0,167	0,769	35,53	0,164	0,807	37,31	0,160	0,856	39,53	2,20
2,30				0,177	0,725	32,08	0,165	0,759	36,64	0,161	0,799	38,58	0,156	0,849	41,00	2,30
2,40							0,162	0,748	37,70	0,158	0,790	39,82	0,154	0,843	42,45	2,40
2,50							0,160	0,738	38,72	0,156	0,781	41,01	0,151	0,836	43,87	2,50
2,60							0,158	0,727	39,69	0,154	0,772	42,18	0,149	0,830	45,27	2,60
2,70										0,152	0,764	43,30	0,147	0,823	46,64	2,70
2,80							$\mu_{max} = 2,62\%$			0,150	0,755	44,39	0,144	0,816	47,98	2,80
2,90							0,158	0,725	40,00	0,148	0,746	45,45	0,143	0,810	49,30	2,90
3,00										0,147	0,737	46,46	0,141	0,803	50,60	3,00
3,10										0,145	0,729	47,44	0,139	0,797	51,84	3,10
3,20													0,137	0,790	53,07	3,20
3,30										$\mu_{max}=3,14\%$			0,136	0,784	54,28	3,30
3,40													0,135	0,777	55,46	3,40
3,50										0,145	0,725	47,85	0,133	0,770	56,62	3,50
4,00													0,127	0,738	61,95	4,00
													$\mu_{max}=4,18\%$			
													0,125	0,725	64,00	

$$M = Bbh_0^2$$

$$h_0 = r\sqrt{\frac{M}{b}}$$

$$A_a = \mu\frac{bh_0}{100} \quad \text{sau} \quad A_a = \frac{M}{\zeta h_0 R_a}$$

Observație. Valorile întabulate care se află deasupra liniei groase se referă numai la secțiunile T, I sau casetate.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.4

Tabelă pentru calculul secțiunilor dreptunghiulare, T, I sau casetate, armate cu bare TOR 47, R_a = 2 800 kgf/cm²

μ %	B 150, R_i = 80 kgf/cm²			B 200, R_i = 100 kgf/cm²			B 250, R_i = 120 kgf/cm²			B 300, R_i = 160 kgf/cm²			B 400, R_i = 210 kgf/cm²			μ %
	r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B	
0,04	0,953	0,982	1,10	0,952	0,986	1,10	0,953	0,982	1,10	0,951	0,987	1,10	0,947	0,990	1,12	0,04
0,06	0,778	0,982	1,65	0,777	0,986	1,66	0,778	0,982	1,65	0,777	0,987	1,66	0,774	0,990	1,67	0,06
0,08	0,674	0,982	2,20	0,673	0,986	2,21	0,674	0,982	2,20	0,673	0,987	2,21	0,670	0,990	2,23	0,08
0,10	0,603	0,982	2,75	0,602	0,986	2,76	0,603	0,982	2,75	0,602	0,987	2,76	0,600	0,990	2,78	0,10
0,12	0,511	0 979	3,29	0,550	0,983	3,30	0,550	0,982	3,30	0,549	0,987	3,32	0,548	0,990	3,33	0,12
0,14	0,551	0,975	3,82	0,510	0,980	3,84	0,510	0,982	3,85	0,508	0,987	3,87	0,508	0,990	3,88	0,14
0,15	0,494	0,974	4,09	0,493	0,979	4,11	0,492	0,982	4,13	0,491	0,987	4,14	0,490	0,990	4,16	0,15
0,16	0,479	0,972	4,35	0,478	0,978	4,38	0,477	0,981	4,40	0,470	0,986	4,42	0,475	0,989	4,43	0,16
0,18	0,453	0,968	4,88	0,451	0,975	4,91	0,450	0,979	4,93	0,479	0,984	4,96	0,448	0,988	4,98	0,18
0,20	0,430	0,965	5,40	0,429	0,972	5,44	0,428	0,977	5,47	0,426	0,982	5,50	0,425	0,987	5,52	0,20
0,25	0,386	0,956	6,69	0,385	0,965	6,75	0,384	0,971	6,80	0,382	0,978	6,85	0,381	0,983	6,88	0,25
0,30	0,354	0,947	7,96	0,352	0,958	8,05	0,351	0,965	8,11	0,350	0,974	8,18	0,349	0,980	8,23	0,30
0,35	0,330	0,939	9,20	0,328	0,951	9,32	0,326	0,959	9,40	0,324	0,969	9,50	0,323	0,977	9,57	0,35
0,40	0,310	0,930	10,42	0,308	0,944	10,57	0,306	0,953	10,68	0,304	0,965	10,81	0,303	0,973	10,90	0,40
0,45	0,293	0,921	11,61	0,291	0,937	11,81	0,289	0,947	11,94	0,287	0,961	12,10	0,286	0,970	12,22	0,45
0,50	0,280	0,912	12,77	0,277	0,930	13,02	0,275	0,942	13,18	0,273	0,956	13,39	0,272	0,967	13,53	0,50
0,55	0,268	0,904	13,92	0,265	0,923	14,21	0,263	0,936	14,41	0,261	0,952	14,66	0,260	0,963	14,83	0,55
0,60	0,258	0,895	15,04	0,255	0,916	15,39	0,253	0,930	15,62	0,251	0,947	15,92	0,249	0,960	16,12	0,60
0,65	0,249	0,886	16,13	0,246	0,909	16,54	0,244	0,924	16,82	0,241	0,943	17,16	0,240	0,957	17,41	0,65
0,70	0,241	0,877	17,20	0,238	0,902	17,68	0,236	0,918	18,00	0,233	0,939	18,40	0,231	0,953	18,68	0,70
0,75	0,234	0,869	18,24	0,231	0,895	18,79	0,228	0,912	19,16	0,226	0,934	19,62	0,224	0,950	19,94	0,75
0,80	0,228	0,860	19,26	0,224	0,888	19,89	0,222	0,907	20,31	0,219	0,930	20,83	0,217	0,947	21,19	0,80
0,85	0,222	0,851	20,26	0,218	0,881	20,97	0,216	0,901	21,44	0,213	0,926	22,03	0,211	0,943	22,45	0,85
0,90	0,217	0,842	21,23	0,213	0,874	22,02	0,211	0,895	22,55	0,207	0,921	23,21	0,205	0,940	23,69	0,90
0,95	0,212	0,834	22,18	0,208	0,867	23,06	0,206	0,889	23,65	0,202	0,917	24,39	0,200	0,937	24,91	0,95
1,00	0,208	0,825	23,10	0,204	0,860	24,08	0,201	0,883	24,73	0,198	0,912	25,55	0,196	0,933	26,12	1,00

Scanned with OKEN Scanner

1,10	0,200	0,807	24,87	0,196	0,846	26,06	0,193	0,872	26,85	0,189	0,904	27,83	0,187	0,927	28,54	1,10
1,20	0,194	0,790	26,54	0,189	0,832	27,95	0,186	0,860	28,90	0,182	0,895	30,07	0,180	0,920	30,91	1,20
1,30	0,189	0,772	28,12	0,183	0,818	29,77	0,180	0,848	30,88	0,176	0,886	32,26	0,173	0,913	33,22	1,30
1,40	0,184	0,755	29,60	0,178	0,804	31,52	0,175	0,837	32,80	0,170	0,877	34,40	0,168	0,907	35,55	1,40
1,50	0,180	0,737	30,97	0,174	0,790	33,18	0,170	0,825	34,65	0,165	0,869	36,49	0,163	0,900	37,78	1,50
1,60				0,170	0,776	34,76	0,166	0,813	36,44	0,161	0,860	38,53	0,158	0,893	39,98	1,60
1,70	$\mu_{max} = 1,57\%$			0,166	0,762	36,27	0,162	0,802	38,16	0,157	0,851	40,52	0,154	0,887	42,21	1,70
1,80				0,163	0,748	37,70	0,158	0,790	39,82	0,153	0,842	42,46	0,150	0,880	44,33	1,80
1,90	0,177	0,725	31,90	0,160	0,734	39,05	0,155	0,778	41,41	0,150	0,834	44,35	0,147	0,873	46,43	1,90
2,00							0,153	0,767	42,93	0,147	0,825	46,20	0,143	0,867	48,53	2,00
2,10				$\mu_{max} = 1,96\%$			0,150	0,755	44,39	0,144	0,816	47,99	0,141	0,860	50,55	2,10
2,20							0,148	0,743	45,79	0,142	0,807	49,74	0,138	0,853	52,52	2,20
2,30				0,158	0,725	39,87	0,146	0,732	47,12	0,139	0,799	51,44	0,135	0,847	54,54	2,30
2,40										0,137	0,790	53,09	0,133	0,840	56,48	2,40
2,50							$\mu_{max} = 2,36\%$			0,135	0,781	54,69	0,131	0,833	58,30	2,50
2,60										0,133	0,772	56,23	0,129	0,827	60,19	2,60
2,70							0,145	0,725	47,85	0,132	0,764	57,74	0,127	0,820	61,97	2,70
2,80										0,130	0,755	59,19	0,125	0,813	63,71	2,80
2,90										0,128	0,746	60,59	0,124	0,807	65,50	2,90
3,00										0,127	0,737	61,95	0,122	0,800	67,20	3,00
3,10										0,126	0,729	63,25	0,120	0,793	68,82	3,10
3,20													0,119	0,787	70,50	3,20
3,30										$\mu_{max} = 3,14\%$			0,118	0,780	72,05	3,30
3,40													0,117	0,773	73,56	3,40
3,50										0,125	0,725	63,79	0,115	0,767	75,14	3,50
3,60													0,114	0,760	76,59	3,60
3,70													0,113	0,753	77,99	3,70
3,80													0,112	0,747	79,46	3,80
3,90													0,111	0,740	80,79	3,90
4,00													0,110	0,733	82,07	4,00
4,10													0,109	0,727	83,43	4,10
													$\mu_{max} = 4,12\%$			
													0,109	0,725	83,66	

$$M = B\, b\, h_0^2$$

$$h_0 = r\sqrt{\frac{M}{b}}$$

$$A_a = \mu\,\frac{b\,h_0}{100} \text{ sau } A_a = \frac{M}{\zeta\, h_0 R_a}$$

Observație. Valorile întabulate care se află deasupra liniei groase se referă numai la secțiunile T, I sau casetate.

Scanned with OKEN Scanner

Calculul cu ajutorul tabelelor se face ținînd seama de formulele date în continuare:

— pentru tipurile de armături și mărcile de beton standardizate

$$h_0 = r\sqrt{\frac{M}{b}} \qquad \text{(VI.20)}$$

$$A_a = \mu\,\%_0\,\frac{bh_0}{100} \text{ sau } A_a = \frac{M}{R_a z} \qquad \text{(VI.21)}$$

în care:

$$z = \zeta\, h_0 \qquad \text{(VI.22)}$$

$$M = B\, b\, h_0^2; \qquad \text{(VI.23)}$$

Tabelă pentru calculul secțiunilor dreptunghiulare, T, I

μ %	R 150; R_i = 80 kgf/cm²			B 200, R_i = 100 kgf/cm²			B 250, R_i = 120 kgf/cm²		
	r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B
0,04	0,937	0,981	1,14	0,935	0,985	1,14	0,937	0,982	1,14
0,06	0,765	0,981	1,71	0,764	0,985	1,71	0,765	0,982	1,71
0,08	0,663	0,981	2,28	0,661	0,985	2,29	0,663	0,982	2,28
0,10	0,593	0,981	2,84	0,591	0,985	2,86	0,593	0,982	2,85
0,12	0,542	0,978	3,40	0,541	0,983	3,42	0,541	0,982	3,42
0,14	0,503	0,975	3,96	0,501	0,980	3,98	0,501	0,982	3,99
0,15	0,486	0,973	4,23	0,485	0,978	4,25	0,484	0,982	4,27
0,16	0,471	0,971	4,50	0,470	0,977	4,53	0,469	0,981	4,55
0,18	0,445	0,967	5,05	0,443	0,974	5,08	0,442	0,978	5,11
0,20	0,423	0,964	5,59	0,421	0,971	5,63	0,420	0,976	5,66
0,25	0,380	0,955	6,92	0,378	0,964	6,99	0,377	0,970	7,03
0,30	0,349	0,946	8,23	0,347	0,956	8,32	0,345	0,964	8,38
0,35	0,324	0,937	9,51	0,322	0,949	9,63	0,321	0,958	9,72
0,40	0,305	0,927	10,76	0,302	0,942	10,93	0,301	0,952	11,04
0,45	0,289	0,918	11,98	0,286	0,935	12,20	0,285	0,946	12,34
0,50	0,275	0,909	13,19	0,273	0,927	13,45	0,271	0,940	13,62
0,55	0,264	0,900	14,36	0,261	0,920	14,68	0,259	0,933	14,89
0,60	0,254	0,891	15,51	0,251	0,913	15,88	0,249	0,927	16,14
0,65	0,245	0,882	16,63	0,242	0,906	17,07	0,240	0,921	17,37
0,70	0,237	0,873	17,72	0,234	0,898	18,24	0,232	0,915	18,58
0,75	0,231	0,864	18,79	0,227	0,891	19,38	0,225	0,909	19,78
0,80	0,224	0,855	19,84	0,221	0,884	20,51	0,218	0,903	20,96
0,85	0,219	0,846	20,85	0,215	0,877	21 61	0,213	0,897	22,12
0,90	0,214	0,837	21,84	0,210	0,869	22,69	0,207	0,891	23,26
0,95	0,209	0,828	22,81	0,205	0,862	23,75	0,202	0,885	24,39

Scanned with OKEN Scanner

— pentru beton și armături de orice marcă

$$h_0 = r_0 \sqrt{\frac{M}{bR_i}} \qquad \text{(VI.24)}$$

$$A_a = \frac{M}{R_a \xi h_0} \text{ sau } A_a = \xi b h_0 \frac{R_i}{R_a} \qquad \text{(VI.25)}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{A_a R_a}{b h_0 R_i} = \mu \frac{R_a}{R_i} \qquad \text{(VI.26)}$$

$$M = B_0 \, b \, h_0^2 \, R_i \qquad \text{(VI.27)}$$

Tabela VI.5

sau casetate, armate cu bare PC 52, R_a = 2 900 kgf/cm²

B 300, R_i = 160 kgf/cm²			B 400, R_i = 210 kgf/cm²			B 500, R_i = 250 kgf/cm²			μ %
r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B	
0,935	0,986	1,14	0,930	0,990	1,15	0,930	0,988	1,16	0,04
0,763	0,986	1,72	0,760	0,990	1,73	0,759	0,988	1,73	0,06
0,661	0,986	2,29	0,659	0,990	2,30	0,658	0,988	2,31	0,08
0,591	0,986	2,86	0,590	0,990	2,88	0,589	0,988	2,88	0,10
0,540	0,986	3,43	0,538	0,990	3,45	0,538	0,988	3,45	0,12
0,500	0,986	4,00	0,499	0,990	4,02	0,498	0,988	4,03	0,14
0,483	0,986	4,29	0,472	0 990	4,30	0,482	0,988	4,31	0,15
0,468	0,985	4,57	0,467	0,989	4,58	0,466	0,988	4,60	0,16
0,441	0,984	5,13	0,441	0,987	5,15	0,440	0,988	5,16	0,18
0,419	0,982	5,69	0,418	0,986	5,71	0,418	0,988	5,73	0,20
0,376	0,977	7,09	0,375	0,983	7,12	0,374	0,985	7,14	0,25
0,344	0,973	8,46	0,343	0,979	8,50	0,332	0,983	8,55	0,30
0,319	0,968	9,83	0,318	0,976	9,81	0,317	0,980	9,94	0,35
0,299	0,964	11,18	0,298	0,972	11,28	0,297	0,977	11,33	0,40
0,283	0,959	12,52	0,281	0,969	12,64	0,280	0,974	12,71	0,45
0,269	0,955	13,84	0,267	0,965	13,99	0,266	0,971	14,08	0,50
0,257	0,950	15,15	0,257	0,962	15,12	0,254	0,968	15,44	0,55
0,246	0,946	16,45	0,245	0,959	16,67	0,244	0,965	16,79	0,60
0,237	0,941	17,74	0,236	0,955	18,00	0,235	0,962	18,13	0,65
0,229	0,937	19,01	0,228	0,952	19,30	0,226	0,959	19,47	0,70
0,222	0,932	20,27	0,220	0,948	20,60	0,219	0,956	20,80	0,75
0,216	0,927	21,52	0,214	0,945	21,90	0,213	0,953	22,12	0,80
0,210	0,923	22,75	0,208	0,941	23,18	0,207	0,951	23,43	0,85
0,204	0,918	23,97	0,202	0,938	24,46	0,201	0,948	24,74	0,90
0,199	0,914	25,18	0,197	0,934	25,72	0,196	0,945	26,02	0,95

Scanned with OKEN Scanner

μ %	B 150, R_t = 80 kgf/cm²			B 200, R_t = 100 kgf/cm²			B 250, R_t = 120 kgf/cm²		
	r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B
1,00	0,205	0,819	23,74	0,201	0,855	24,79	0,198	0,879	25,50
1,10	0,198	0,801	25,54	0,193	0,840	26,81	0,190	0,867	27,66
1,20	0,192	0,783	27,23	0,186	0,826	28,74	0,183	0,855	29,75
1,30	0,186	0,764	28,82	0,181	0,811	30,59	0,177	0,843	31,78
1,40	0,182	0,746	30,30	0,176	0,797	32,36	0,172	0,831	33,73
1,50	0,178	0,728	31,67	0,171	0,782	34,04	0,168	0,819	35,62
1,60				0,167	0,768	35,63	0,163	0,807	37,43
1,70	$\mu_{max} = 1,52\%$			0,164	0,753	37,15	0,160	0,795	39,17
1,80	0,177	0,725	31,90	0,161	0,739	38,58	0,156	0,782	40,85
1,90				$\mu_{max} = 1,90\%$			0,153	0,770	42,45
2,00				0,158	0,725	39,87	0,151	0,758	43,98
2,10							0,148	0,746	45,45
2,20							0,146	0,734	46,84
2,30							$\mu_{max} = 2,28\%$		
2,40							0,145	0,725	47,85
2,50									
2,60									
2,70									
2,80									
2,90									
3,00									
3,10									
3,20									
3,30									
3,40									
3,50									
3,60									
3,70									
3,80									
3,90									
4,00									
4,10									
4,20									
4,30									
4,40									
4,50									
4,60									
4,70									

$$M = Bbh_0^2$$

$$h_0 = r\sqrt{\frac{M}{b}}$$

$$A_a = \mu\frac{bh_0}{100} \text{ sau } A_a = \frac{M}{\zeta h_0 R_a}$$

Observație. Valorile înlabulate care se află deasupra liniei groase se

Tabela VI.5 (continuare)

B 500, R_t = 160 kgf/cm²			B 400, R_t = 210 kgf/cm²			B 500, R_t = 250 kgf/cm²			μ %
r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B	
0,195	0,909	26,37	0,193	0,931	26,98	0,191	0,942	27,32	1,00
0,187	0,900	28,72	0,184	0,924	29,46	0,183	0,936	29,85	1,10
0,180	0,891	31,01	0,177	0,917	31,90	0,176	0,930	32,95	1,20
0,173	0,882	33,26	0,171	0,910	34,29	0,169	0,925	34,87	1,30
0,168	0,873	35,45	0,165	0,903	36,64	0,164	0,919	37,30	1,40
0,163	0,864	37,59	0,160	0,896	38,98	0,159	0,913	39,72	1,50
0,159	0,855	39,67	0,156	0,890	41,24	0,154	0,907	42,07	1,60
0,155	0,846	41,70	0,151	0,883	43,49	0,150	0,901	44,42	1,70
0,151	0,837	43,68	0,148	0,876	45,67	0,146	0,896	46,77	1,80
0,148	0,828	45,61	0,145	0,869	47,84	0,143	0,890	49,02	1,90
0,145	0,819	47,49	0 141	0,862	49,96	0,140	0,884	51,27	2,00
0,142	0,810	49,31	0,139	0,855	52,04	0,137	0,878	53,47	2,10
0,140	0,801	51,08	0,136	0,848	54,05	0,134	0,872	55,62	2,20
0,138	0,792	52,80	0,133	0,841	56,05	0,131	0,867	57,82	2,30
0,135	0.782	54,46	0,131	0,834	58,00	0,129	0,861	59,92	2,40
0,133	0,773	56.07	0,129	0,828	60,00	0,127	0,855	61.97	2,50
0,132	0,764	57,63	0,127	0,821	61,87	0,125	0,849	64,00	2.60
0.131	0,755	59,14	0,125	0,814	63,09	0,123	0 843	66,00	2,70
0,128	0,746	60,59	0,124	0,807	65,48	0,121	0,838	68,05	2,80
0,127	0,737	62,00	0,122	0,800	67,24	0,120	0,832	69,97	2,90
0,126	0,728	63,35	0,120	0,793	68,94	0,118	0,826	71,85	3.00
			0,119	0,786	70,60	0,117	0,820	73,72	3,10
μ_{max} = 3,03%			0,117	0 779	72,24	0,115	0,815	75,62	3,20
0,125	0,725	63,79	0,116	0,772	73,84	0,113	0,809	77,42	3,30
			0 115	0,766	75,47	0,112	0,803	79,17	3,40
			0,114	0,759	76,09	0,111	0,797	80,90	3,50
			0 113	0,752	78,46	0,110	0,791	82,57	3.60
			0,112	0,745	79,88	0,109	0,785	84,22	3,70
			0.111	0.738	81,27	0,108	0.780	85,95	3,80
			0,110	0,731	82,61	0,107	0,774	87,52	3,90
						0,106	0,768	89,07	4,00
			μ_{max} = 3,98%			0,105	0,762	90 60	4,10
			0,109	0,725	83,67	0,104	0,756	92,07	4,20
						0,103	0,751	93,65	4,30
						0,102	0,745	95,05	4,40
						0,102	0,739	96,42	4,50
						0,101	0,733	97,77	4 60
						0,100	0.727	99,10	4,70
						μ_{max} = 4,74%			
						0,100	0,725	99,67	

referă numai la secțiunile T, I sau casetate.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelă pentru calculul secțiunilor dreptunghiulare, T, I sau

μ %	B 150 R_i=80 kgf/cm²			B 200, R_i=100 kgf/cm²			B 250, R_i=120 kgf/cm²			B 300
	r	ζ	B	r	ζ	B	r	ζ	B	r
0,04	0,861	0,979	1,35	0,860	0,983	1,35	0,867	0,979	1,33	0,859
0,06	0,704	0,979	2,01	0,703	0,983	2,02	0,708	0,979	2,00	0,703
0,08	0,611	0,979	2,67	0,610	0,983	2,68	0,613	0,979	2,66	0,609
0,10	0,549	0,979	3,33	0,547	0,983	3,34	0,548	0,979	3,33	0,546
0,12	0,503	0,975	3,98	0,500	0,980	4,00	0,500	0,979	3,99	0,498
0,14	0,465	0,970	4,62	0,463	0,976	4,65	0,463	0,979	4,66	0,463
0,15	0,450	0,968	4,94	0,449	0,974	4,97	0,448	0,979	4,99	0,446
0,16	0,437	0,966	5,26	0,435	0,973	5,29	0,434	0,977	5,32	0,433
0,18	0,412	0,962	5,89	0,410	0,969	5,93	0,409	0,974	5,96	0,409
0,20	0,391	0,958	6,51	0,390	0,966	6,57	0,389	0,972	6,61	0,387
0,25	0,352	0,947	8,05	0,350	0,958	8,14	0,349	0,965	8,20	0,348
0,30	0,323	0,936	9,55	0,321	0,949	9,68	0,320	0,957	9,77	0,318
0,35	0,301	0,926	11,02	0,298	0,941	11,19	0,297	0,950	11,31	0,295
0,40	0,283	0,915	12,44	0,280	0,932	12,68	0,279	0,943	12,83	0,277
0.45	0,268	0,904	13,84	0,266	0,924	14,13	0,264	0,936	14,32	0,262
0,50	0,256	0,894	15,19	0,253	0,915	15,56	0,252	0,929	15,80	0,249
0,55	0,246	0,883	16,52	0,242	0,907	16,95	0,241	0,922	17,24	0,238
0,60	0,238	0,873	17,80	0,233	0,898	18,32	0,231	0,915	18,67	0,229
0,65	0,229	0,862	19,05	0,225	0,890	19,66	0,223	0,908	20,06	0,220
0,70	0,222	0,851	20,26	0,218	0,881	20,97	0,216	0,901	21,44	0,212
0,75	0,215	0,841	21,44	0,211	0,873	22,25	0,209	0,893	22,79	0,206
0,80	0,210	0,830	22,58	0,206	0,864	23,50	0,204	0,887	24,12	0,200
0,85	0,205	0,819	23,68	0,201	0,856	24,72	0,198	0,880	25,42	0,195
0,90	0,201	0,809	24,73	0,196	0,847	25,92	0,193	0,872	26,70	0,189
0,95	0,196	0,798	25,78	0,192	0,839	27,08	0,189	0,865	27,95	0,185
1,00	0,193	0,788	26,78	0,188	0,830	28,22	0,185	0,858	29,18	0,181
1,10	0,186	0,766	28,66	0,181	0,813	30,41	0,178	0,844	31,57	0,173
1,20	0,181	0,745	30,40	0,175	0,796	32,48	0,172	0,830	33,86	0,167
1,30	μ_{max}=1,30%			0,170	0,779	34,43	0,166	0,816	36,01	0,162
1,40				0,166	0,762	36,27	0,162	0,802	38,16	0,157
1,50				0,162	0,745	38,00	0,158	0,787	40,16	0,152
1,60	0,177	0,725	32,00	0,158	0,728	39,60	0,154	0,773	42,07	0,148

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.6

casetate, armate cu bare PC 60 sau TOR 57, R_a=3 400 kgf/cm²

R_t=16 kgf/cm²		B 400. R_t=210 kgf/cm²			B 500. R_t =250 kgf/cm²			B 600. R_t=280 kgf/cm²			μ %
ξ	B	r	ξ	B	r	ξ	B	r	ξ	B	
0,984	1,35	0,859	0,988	1,36	0,859	0,986	1,36	0,858	0,988	1,36	0,04
0,984	2,03	0,702	0,988	2,03	0,701	0,986	2,03	0,701	0,988	2,03	0,06
0,984	2,70	0,608	0,988	2,70	0,608	0,986	2 70	0,608	0,988	2,71	0,08
0,984	3,37	0,544	0,988	3,37	0,544	0,986	3,38	0,544	0,988	3,38	0,10
0,984	4,03	0,497	0,988	4,04	0,497	0,986	4,08	0,497	0,988	4,05	0,12
0,984	4,69	0,461	0,988	4,71	0,450	0,986	4,71	0,460	0,988	4,72	0,14
0,984	5,02	0,445	0,988	5,04	0,445	0,986	5,05	0,445	0,988	5,06	0,15
0,983	5,35	0,431	0,987	5,37	0,431	0,986	5,38	0,431	0,988	5,39	0,16
0,981	6,01	0,407	0,985	6,03	0,407	0,986	6,04	0,406	0,988	6,06	0,18
0,979	6,66	0,387	0,984	6,69	0,386	0,986	6,71	0,386	0,988	6,72	0,20
0,974	8,27	0,346	0,980	8,33	0,346	0,983	8,35	0,346	0,985	8,37	0,25
0,968	9,88	0,317	0,976	9,95	0,316	0,980	9,99	0,316	0,982	10,02	0,30
0,963	11,46	0,294	0,972	11,56	0,293	0,976	11,62	0,293	0,979	11,65	0,35
0,958	13,02	0,276	0,968	13,16	0,275	0,973	13,23	0,274	0,976	13,28	0,40
0,952	14,56	0,260	0,964	14,74	0,260	0,969	14.83	0,259	0,973	14,89	0,45
0,947	16,10	0,247	0,960	16,31	0,247	0,966	16,42	0,246	0,970	16,50	0,50
0,942	17,61	0,236	0,955	17,87	0,236	0,963	18,00	0,235	0,967	18,09	0,55
0,936	19,10	0,227	0,951	19,41	0,226	0,959	19 57	0,225	0,964	19,67	0,60
0,931	20,57	0,218	0,947	20,94	0,217	0,956	21,12	0,217	0,961	21,25	0,65
0,926	22,03	0,211	0,943	22,45	0,210	0,952	22,67	0,209	0,958	22,81	0,70
0,920	23,47	0,204	0,939	23,95	0,203	0,949	24,20	0,203	0,955	24,36	0,75
0,915	24,89	0,198	0,935	25,44	0,197	0,946	25,72	0,196	0,952	25,90	0,80
0,910	26,29	0,193	0,931	26,91	0,192	0,942	27,23	0,191	0,949	27,44	0,85
0,905	27,67	0,188	0,927	28,37	0,186	0,939	28,73	0,186	0,946	28,84	0,90
0,899	29,04	0,183	0,923	29,82	0,182	0,935	30,21	0,181	0,943	30,52	0,95
0,894	30,39	0,179	0,919	31,25	0,178	0,932	31,69	0,177	0,939	31,92	1,00
0,883	33,04	0,171	0,911	34,07	0,170	0,926	34,50	0,169	0,934	35,00	1,10
0,873	35,60	0,165	0,903	36,84	0,163	0,919	37,50	0,163	0,928	37,80	1,20
0,862	38,10	0,159	0,895	39,55	0,157	0,912	40,25	0,157	0,922	40,60	1,30
0,851	40,51	0,154	0,887	42,20	0,153	0,905	43,00	0,152	0,915	43,40	1,40
0,841	42,87	0,149	0,879	44,81	0,148	0,898	45,75	0,147	0,909	46,20	1,50
0,830	45,15	0,145	0,870	47,35	0,143	0,891	48,50	0,143	0,903	49,00	1,60

Scanned with OKEN Scanner

μ %	B 150, R_t=80 kgf/cm²			B 200, R_t=100 kgf/cm²			B 250, R_t=120 kgf/cm²			B 300
	r	ξ	B	r	ξ	B	r	ξ	B	r
1,70				μ_{max}=1,62%			0,151	0,759	43,08	0,145
1,80							0,148	0,745	45,59	0,142
1,90				0,158	0,725	40,00	0,145	0,731	47,21	0,139
2,00										0,136
2,10							μ_{max}=1,94%			0;134
2,20										0,132
2,30							0,145	0,725	47,85	0,130
2,40										0,128
2,50										0,126
2,60										
2,70										μ_{max}=
2,80										
2,90										0,125
3,00										
3,10										
3,20										
3,30										
3,40										
3,50										
3,60										
3,70										
3,80										
3,90										
4,00										
4,10										
4,20										
4,30										
4,40										
4,50										

$$M = B\, b\, h_0^2$$

$$h_o = r\sqrt{\frac{M}{b}}$$

$$A_a = \mu \frac{b\, h_o}{100} \quad \text{sau} \quad A_a = \frac{M}{\xi\, h_o\, R_a}$$

Observație: Valorile întabulate care se află deasupra liniei groase

Tabela VI.6 (continuare)

k_1 = 100 kgf/cm²		B 400, R_t=210 kgf/cm²			B 500, R_t=250 kgf/cm²			B 600, R_t=280 kgf/cm²			μ %
ξ	l	r	ξ	B	r	ξ	B	r	ξ	B	
0,819	47,36	0,141	0,862	49,84	0,140	0,885	51,25	0,139	0,897	51,80	1,70
0,809	49,56	0,138	0,854	52,28	0,136	0,878	53,75	0,135	0,891	54,60	1,80
0,798	51,56	0,135	0,846	54,66	0,133	0,871	56,25	0,132	0,885	57,12	1,90
0,788	53,55	0,132	0,838	56,99	0,130	0,864	58,75	0,130	0,879	59,64	2,00
0 777	55,47	0,130	0,830	59,26	0,128	0,858	61,25	0,127	0,873	62,16	2,10
0,766	57,31	0,127	0,822	61,48	0,125	0,851	63,75	0,124	0,867	64,68	2,20
0,756	59,09	0,125	0,814	63,64	0,123	0,844	66,00	0,122	0,861	67,20	2,30
0,745	60,79	0,123	0,806	65,74	0,121	0,837	68,25	0,120	0,855	69,72	2,40
0,734	62,42	0,121	0,798	67,80	0,119	0,830	70,50	0,117	0,849	72,24	2,50
		0,120	0,790	69,79	0,117	0,824	72,75	0,116	0,843	74,48	2,60
2,59 %		0,118	0,781	71,73	0,115	0,817	75,00	0,114	0,836	76,72	2,70
		0,116	0,773	73,62	0,114	0,810	77,00	0,113	0,830	78,96	2,80
0,725	64,00	0,115	0,765	75,45	0,112	0,803	79,25	0,111	0,824	81,20	2,90
		0,114	0,757	77,23	0,111	0,796	81,25	0,109	0,818	83,44	3,00
		0,112	0,749	78,95	0,109	0,790	83,25	0,108	0,812	85,68	3,10
		0,111	0,741	80,61	0,108	0,783	85,25	0,107	0,806	87,64	3,20
		0,110	0,733	82,22	0,107	0,777	87,00	0,105	0,800	89 88	3,30
					0,106	0,769	88,75	0,104	0,794	91,84	3,40
		μ_{max}=3,40 %			0,105	0,762	90,75	0,103	0,788	93,80	3,50
					0,104	0,756	92,50	0,102	0,782	95 76	3,60
		0,109	0,725	83,78	0,103	0,749	94,25	0,101	0,776	97,72	3,70
					0,102	0,742	95,75	0,100	0,770	99,40	3,80
					0,101	0,735	97,50	0,099	0,764	101,36	3,90
					0,100	0,728	99,00	0,098	0,757	103,04	4.00
								0,097	0,751	104,72	4,10
					μ_{max}=4,05 %			0,097	0 745	106,40	4,20
								0,096	0,739	108,08	4,30
					0,100	0,725	99,78	0,095	0,733	109,76	4,40
								0,095	0,727	111,16	4,50
								μ_{max}=4,53 %			
								0,094	0,725	111,70	

se referă numai la secțiunile T, I sau casetate.

Tabelă pentru calculul

ξ	r_0	ζ	B_0	Procentele de armare μ% pentru mărcile							
				R_a = 2 100 kgf/cm²					R_a = 800		
				B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 150	B 200	B 250
0,01	10,02	0,995	0,010	0,038	0,048	0,057	0,076	0,100	0,029	0,036	0,043
0,02	7,10	0,990	0,020	0,076	0,095	0,114	0,152	0,200	0,057	0,071	0,086
0,03	5 82	0,985	0,030	0,114	0,143	0,171	0,229	0,300	0,086	0,107	0,129
0,04	5,05	0,980	0,039	0,152	0,190	0,229	0,305	0,400	0,114	0,143	0,171
0,05	4,53	0,975	0,049	0,190	0,238	0,286	0,381	0,500	0,143	0,179	0,214
0,06	4,14	0,970	0,058	0,229	0,286	0,343	0,457	0,600	0,171	0,214	0,257
0,07	3,85	0,965	0,068	0,267	0,333	0,400	0,533	0,700	0,200	0,250	0,300
0,08	3,61	0,960	0,077	0,305	0,381	0,457	0,610	0,800	0,229	0,286	0,343
0,09	3,41	0,955	0,086	0,343	0,429	0,514	0,686	0,900	0,257	0,321	0,386
0,10	3,24	0,950	0,095	0,381	0,476	0,571	0,762	1,000	0,286	0,357	0,429
0,11	3,10	0,945	0,104	0,419	0,524	0,629	0,838	1,100	0,314	0,393	0,471
0,12	2,98	0,940	0,113	0,457	0,571	0,686	0,914	1,200	0,343	0,429	0,514
0,13	2,87	0,935	0,122	0,495	0,619	0,743	0,990	1,300	0,371	0,464	0,557
0,14	2,77	0,930	0,130	0,533	0,667	0,800	1,067	1,400	0,400	0,500	0,600
0,15	2,68	0,925	0,139	0,571	0,714	0,857	1,143	1,500	0,429	0,536	0,643
0,16	2,61	0,920	0,147	0,610	0,762	0,914	1,219	1,600	0,457	0,571	0,686
0,17	2,54	0,915	0,155	0,648	0,810	0,971	1,295	1,700	0,486	0,607	0,729
0,18	2,47	0,910	0,164	0,686	0,857	1,029	1,371	1,800	0,514	0,643	0,771
0,19	2,41	0,905	0,172	0,724	0,905	1,086	1,448	1,900	0,543	0,679	0,814
0,20	2,36	0,900	0,180	0,762	0,952	1,143	1,524	2,000	0,571	0,714	0,857
0,21	2,31	0,895	0,188	0,800	1,000	1,200	1,600	2,100	0,600	0,750	0,900
0,22	2,26	0,890	0,196	0,838	1,048	1,257	1,676	2,200	0,629	0,786	0,943
0,23	2,22	0,885	0,204	0,876	1,095	1,314	1,752	2,300	0,657	0,821	0,986
0,24	2,18	0,880	0,211	0,914	1,143	1,371	1,829	2,400	0,686	0,857	1,029
0,25	2,14	0,875	0,219	0,952	1,190	1,429	1,905	2,500	0,714	0,893	1,071
0,26	2,10	0,870	0,226	0,990	1,238	1,486	1,981	2,600	0,743	0,929	1,114
0,27	2,07	0,865	0,234	1,029	1,286	1,543	2,057	2,700	0,771	0,964	1,157
0,28	2,04	0,860	0,241	1,067	1,333	1,600	2,133	2,800	0,800	1,000	1,200
0,29	2,01	0,855	0,248	1,105	1,381	1,657	2,210	2,900	0,829	1,036	1,243
0,30	1,98	0,850	0,255	1,143	1,429	1,714	2,286	3,000	0,857	1,071	1,286
0,31	1,95	0,845	0,262	1,181	1,476	1,771	2,362	3,100	0,886	1,107	1,329
0,32	1,93	0,840	0,269	1,219	1,524	1,829	2,438	3,200	0,914	1,143	1,371
0,33	1,90	0,835	0,276	1,257	1,571	1,886	2,514	3,300	0,943	1,179	1 414
0,34	1,88	0,830	0,282	1,295	1,619	1,943	2,590	3,400	0,971	1,214	1,457
0,35	1,86	0,825	0 289	1,333	1,667	2,000	2,667	3,500	1,000	1,250	1,500
0,36	1,84	0,820	0,295	1,371	1,714	2,057	2,743	3,600	1,029	1,286	1,543
0,37	1,82	0,815	0,302	1,410	1,762	2,114	2,819	3,700	1,057	1,321	1,586
0,38	1,80	0,810	0,308	1,448	1,810	2,171	2,895	3,800	1,086	1,357	1,629
0,39	1,78	0,805	0,314	1,486	1,857	2,229	2,971	3,900	1,114	1,393	1,671
0,40	1.77	0,800	0,320	1,524	1,905	2,286	3,048	4,000	1,143	1,429	1,714
0,41	1,75	0,795	0,326	1,562	1,952	2,343	3,124	4,100	1,171	1,464	1,757
0,42	1,74	0,790	0,332	1,600	2,000	2,400	3,200	4,200	1,200	1,500	1,800
0,43	1,72	0,785	0,338	1,638	2,048	2,457	3,276	4,300	1,229	1 536	1,843
0,44	1,71	0,780	0,343	1,676	2,095	2,514	3,352	4,400	1,257	1,571	1,886
0,45	1,69	0,775	0,349	1,714	2,143	2,571	3,429	4,500	1,286	1,607	1,929
0,46	1,68	0,770	0,354	1,752	2,190	2,629	3,505	4,600	1,314	1,643	1,971

Scanned with OKEN Scanner

procentului de armare *Tabela VI.7.*

de beton și tipurile de armătură date

kgf/cm²		R_a = 2 900 kgf/cm²					R_a = 3 400 kgf/cm²				
B 300	B 400	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500
0,057	0,075	0,034	0,041	0,055	0,072	0,086	0,029	0,035	0,048	0,062	0,074
0,114	0,150	0,069	0,083	0,110	0,145	0,172	0,059	0,071	0,094	0,124	0,147
0,171	0,225	0,103	0,124	0,166	0,217	0,259	0,088	0,106	0,141	0,185	0,221
0,229	0,300	0,138	0,166	0,221	0,290	0,345	0,118	0,141	0,188	0,247	0,294
0,286	0,375	0,172	0,207	0,276	0,362	0,431	0,147	0,176	0,235	0,309	0,368
0,343	0,450	0,207	0,248	0,331	0,434	0,517	0,176	0,212	0,282	0,371	0,441
0,400	0,525	0,241	0,290	0,386	0,507	0,608	0,206	0,247	0,329	0,432	0,515
0,457	0,600	0,276	0 331	0,441	0,579	0,690	0,235	0,282	0,376	0,494	0,588
0,514	0,675	0,310	0,372	0,497	0,652	0,776	0,265	0,318	0,424	0,556	0,662
0,571	0,750	0,345	0,414	0,552	0,724	0,862	0,294	0,353	0,471	0,618	0,735
0,629	0,825	0,379	0,455	0,607	0,797	0,948	0,324	0,388	0,518	0,679	0,809
0,686	0,900	0,414	0,497	0,662	0,869	1,034	0,353	0,424	0,565	0,741	0,882
0,743	0,975	0,448	0,538	0,717	0,941	1,121	0,382	0,459	0,612	0,803	0,956
0,800	1,050	0,483	0,579	0,772	1,014	1,207	0,412	0,494	0,659	0,865	1,029
0,857	1,125	0,517	0,621	0,828	1,086	1,293	0,441	0,529	0,706	0,926	1,103
0,914	1,200	0,552	0,662	0,883	1,159	1,379	0,471	0,565	0,753	0,988	1,176
0,971	1,275	0,586	0,703	0,938	1,231	1,466	0,500	0,600	0,800	1,050	1,250
1,029	1,350	0,621	0,745	0,993	1,303	1,552	0,529	0,635	0,847	1,112	1,324
1,086	1,425	0,655	0,786	1,048	1,376	1,638	0,559	0,671	0,894	1,174	1,397
1,143	1,500	0,690	0,828	1,103	1,448	1,724	0,588	0,706	0,941	1,235	1,471
1,200	1,575	0,724	0,869	1,159	1,521	1,810	0,618	0,741	0,988	1,297	1,544
1,257	1,650	0,759	0,910	1,214	1,593	1,897	0,647	0,776	1,035	1,359	1,618
1,314	1,725	0,793	0,952	1,269	1,666	1,983	0,676	0,812	1,082	1,421	1,691
1,371	1,800	0,828	0,993	1,324	1,738	2,069	0,706	0,847	1,129	1,482	1,765
1,429	1,875	0,862	1,034	1,379	1,810	2,155	0,735	0,882	1,176	1,544	1,838
1,486	1,950	0,897	1,076	1,434	1,883	2,241	0,765	0,918	1,224	1,606	1,912
1,543	2,025	0,931	1,117	1,490	1,955	2,328	0,794	0,953	1,271	1,668	1,985
1,600	2,100	0,966	1,159	1,545	2,028	2,414	0,824	0,988	1,318	1,729	2,059
1,657	2,175	1,000	1,200	1,600	2,100	2,500	0,853	1,024	1,365	1,791	2,132
1,714	2,250	1,034	1,241	1,655	2,172	2,586	0,882	1,059	1,412	1,853	2,206
1,771	2,325	1,069	1,283	1,710	2,245	2,672	0,912	1,094	1,459	1,915	2,279
1,829	2,400	1,103	1,324	1,766	2,317	2,759	0,941	1,129	1,506	1,976	2,353
1,886	2,475	1,138	1,366	1,821	2,390	2,845	0,971	1,165	1,553	2,038	2,426
1,943	2,550	1,172	1,407	1,876	2,462	2,931	1,000	1,200	1,600	2,100	2,500
2,000	2,625	1,207	1,448	1,931	2,534	3,017	1,029	1,235	1,647	2,162	2,574
2,057	2,700	1,241	1,490	1,986	2,607	3,103	1,059	1,271	1,694	2,224	2,647
2,114	2,775	1,276	1,531	2,041	2,679	3,190	1,088	1,306	1,741	2,285	2,721
2,171	2,850	1,310	1,572	2,097	2,752	3,276	1,118	1,341	1,788	2,347	2,794
2,229	2,925	1,345	1,614	2,152	2,824	3,362	1,147	1,376	1,835	2,409	2,868
2,286	3,000	1 379	1,655	2,207	2,897	3,448	1,176	1,412	1,882	2,471	2,941
2,343	3,075	1,414	1,697	2,262	2,969	3,534	1,206	1,447	1,929	2,532	3,015
2,400	3,150	1,448	1,738	2,317	3,041	3,621	1,235	1,482	1,976	2,594	3,088
2,457	3,225	1,483	1,779	2,372	3,114	3,707	1,265	1,518	2,024	2,656	3,162
2,514	3,300	1,517	1,821	2,428	3,186	3,793	1,294	1,553	2,071	2,718	3,235
2,571	3,375	1,552	1,862	2,483	3,259	3,879	1,324	1,588	2,118	2,779	3,309
2,629	3,450	1,586	1,903	2,538	3,331	3,966	1,353	1,624	2,165	2,841	3,382

Scanned with OKEN Scanner

ξ	r_0	ζ	B_0	Procentele de armare μ% pentru mărcile							
				R_a = 2 100 kgf/cm²					R_a = 2 800		
				B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 150	B 200	B 250
0,47	1,67	0,765	0,360	1,790	2,238	2,686	3,581	4,700	1,343	1,679	2,014
0,48	1,66	0,760	0,365	1,829	2,286	2,743	3,657	4,800	1,371	1,714	2,057
0,49	1,64	0,755	0,370	1,867	2,333	2,800	3,733	4,900	1,400	1,750	2,100
0,50	1,63	0,750	0,375	1,905	2,381	2,857	3,810	5 000	1,429	1,786	2,143
0,51	1,62	0,745	0,380	1,943	2,429	2,914	3,886	5,100	1,457	1,821	2,186
0,52	1,61	0,740	0,385	1,981	2,476	2,971	3,962	5,200	1,486	1,857	2,229
0,53	1,60	0,735	0,390	2,019	2,524	3,029	4,038	5,300	1,514	1,893	2,271
0,54	1,59	0,730	0,394	2,057	2,571	3,086	4,114	5,400	1,543	1,929	2,314
0,55	1,58	0,725	0,399	2,095	2,619	3,143	4,190	5,500	1,571	1,964	2,357

în care:

$$B_0 = \frac{x}{h_0}\left(1 - 0{,}5\frac{x}{h_0}\right); \qquad \text{(VI.28)}$$

$$B = \frac{x}{h_0}\left(1 - 0{,}5\frac{x}{h_0}\right)R_i = B_0 R_i \qquad \text{(VI.29)}$$

$$r_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{x}{h_0}\left(1 - 0{,}5\frac{x}{h_0}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{B_0}} \qquad \text{(VI.30)}$$

$$r = \frac{1}{\sqrt{R_i\frac{x}{h_0}\left(1 - 0{,}5\frac{x}{h_0}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{B}} \qquad \text{(VI.31)}$$

$$\zeta = 1 - 0{,}5\frac{x}{h_0}. \qquad \text{(VI.32)}$$

În tabela VI.7 se dau valorile lui B_0 în funcţie de $\xi = x/h_0$ pentru valori ale lui ξ din sutime în sutime. La folosirea tabelei sînt necesare interpolări. Pentru a evita interpolările şi a mări precizia calculelor s-a calculat valoarea lui B_0 cu un număr sporit de zecimale, pentru valori ale lui ξ din miime, în miime, de la 0 pînă la 0,550. Datele sînt prezentate în tabela VI.8.

În tabela VI.9 se dau şi valorile lui ξ calculate în funcţie de B_0, pentru valori din miime în miime, de la 0 pînă la 0,400.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.7 (continuare)

de beton și tipurile de armătură date											
kgf/cm²		R_a = 2 900 kgf/cm²					R_a = 3 400 kgf/cm²				
B 300	B 400	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500
2,686	3,525	1 621	1,945	2,593	3,403	4,052	1,382	1,659	2,212	2,903	3,456
2,743	3,600	1,655	1,986	2,648	3,476	4,138	1,412	1,694	2,259	2,965	3,529
2,800	3,675	1,690	2,028	2,703	3,548	4,224	1,441	1,729	2,306	3,026	3,603
2,857	3,750	1,724	2,069	2,759	3,621	4,310	1,471	1,765	2,353	3,088	3,676
2,914	3,825	1,759	2,110	2,814	3,693	4,397	1,500	1,800	2,400	3,150	3,750
2,971	3,900	1,793	2,152	2,869	3,766	4,483	1,529	1,835	2,447	3,212	3,824
3,029	3,975	1,828	2,193	2,924	3,838	4,569	1,559	1,871	2,494	3,274	3,897
3,086	4,050	1,862	2,234	2,979	3,910	4,655	1,588	1,906	2,541	3,335	3,971
3,143	4,125	1,897	2,276	3,034	3,983	4,741	1,618	1,941	2,588	3,397	4,044

Cunoscînd valoarea lui ξ se poate determina procentul de armare sau cantitatea de armătură cu relațiile (VI.19) sau (VI.25).

Cunoscînd valoarea lui B_0, din relația (VI.27) se poate determina momentul capabil. Prin folosirea tabelelor VI.8 și VI.9 nu mai sînt practic necesare interpolările.

b. *Modul practic de calcul*

La calculul secțiunilor dreptunghiulare simplu armate pot apare următoarele cazuri:

1) Se dau sau se aleg dimensiunile secțiunii b și h, marca betonului și tipul armăturii, precum și valoarea momentului încovoietor de calcul M.

Se cere să se determine secțiunea necesară a armăturii întinse.

Problema se poate rezolva în felul următor:

a) Se calculează valoarea lui B

$$B = \frac{M}{bh_0^2}. \qquad \text{(VI.33)}$$

Din tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6, pentru tipul dat al armăturii și marca de beton indicată se găsește procentul de armare μ sau coeficientul ζ, corespunzător valorii B calculate.

În cap. II se arată valorile procentelor economice de armare. Pentru grinzile cu secțiune dreptunghiulară procentul economic de armare variază între 0,6 și 0,7%.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.8

Tabelă pentru determinarea coeficientului B_0 în funcție de ξ

ξ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,000	0,0000	0,00100	0,00200	0,00300	0,00399	0,00499	0,00598	0,00698	0,00797	0,00896
0,010	0,00995	0,01094	0,01193	0,01292	0,01390	0,01489	0,01587	0,01686	0,01784	0,01882
0,020	0,01980	0,02078	0,02176	0,02274	0,02371	0,02469	0,02566	0,02664	0,02761	0,02858
0,030	0,02955	0,03052	0,03149	0,03245	0,03342	0,03439	0,03535	0,03631	0,03728	0,03824
0,040	0,03920	0,04016	0,04112	0,04207	0,04303	0,04399	0,04494	0,04589	0,04685	0,04780
0,050	0,04875	0,04970	0,05065	0,05159	0,05254	0,05349	0,05443	0,05537	0,05632	0,05726
0,060	0,05820	0,05914	0,06008	0,06101	0,06195	0,06289	0,06382	0,06475	0,06569	0,06662
0,070	0,06755	0,06848	0,06941	0,07033	0,07126	0,07219	0,07311	0,07403	0,07496	0,07588
0,080	0,07680	0,07772	0,07864	0,07955	0,08047	0,08139	0,08230	0,08321	0,08413	0,08504
0,090	0,08595	0,08686	0,08777	0,08867	0,08958	0,09049	0,09139	0,09229	0,09320	0,09410
0,100	0,09505	0,09590	0,09680	0,09769	0,09859	0,09949	0,1004	0,1013	0,1022	0,1031
0,110	0,1039	0,1048	0,1057	0,1066	0,1075	0,1084	0,1093	0,1102	0,1110	0,1119
0,120	0,1128	0,1137	0,1146	0,1154	0,1163	0,1172	0,1181	0,1189	0,1199	0,1207
0,130	0,1216	0,1224	0,1233	0,1242	0,1250	0,1259	0,1267	0,1276	0,1285	0,1293
0,140	0,1302	0,1311	0,1319	0,1328	0,1336	0,1345	0,1353	0,1362	0,1370	0,1379
0,150	0,1387	0,1396	0,1404	0,1413	0,1421	0,1430	0,1438	0,1447	0,1455	0,1463
0,160	0,1472	0,1480	0,1489	0,1497	0,1505	0,1514	0,1522	0,1531	0,1539	0,1547
0,170	0,1555	0,1564	0,1572	0,1580	0,1589	0,1597	0,1605	0,1613	0,1622	0,1630
0,180	0,1638	0,1646	0,1654	0,1663	0,1671	0,1679	0,1687	0,1695	0,1703	0,1711
0,190	0,1719	0,1728	0,1736	0,1744	0,1752	0,1760	0,1768	0,1776	0,1784	0,1792
0,200	0,1800	0,1808	0,1816	0,1824	0,1832	0,1840	0,1848	0,1856	0,1864	0,1872
0,210	0,1879	0,1887	0,1895	0,1903	0,1911	0,1919	0,1927	0,1935	0,1942	0,1950
0,220	0,1958	0,1966	0,1974	0,1981	0,1989	0,1997	0,2005	0,2012	0,2020	0,2028
0,230	0,2036	0,2043	0,2051	0,2059	0,2066	0,2074	0,2082	0,2089	0,2097	0,2104
0,240	0,2112	0,2120	0,2127	0,2135	0,2142	0,2150	0,2157	0,2165	0,2172	0,2180
0,250	0,2187	0,2195	0,2202	0,2210	0,2217	0,2225	0,2232	0,2240	0,2247	0,2255
0,260	0,2262	0,2269	0,2277	0,2284	0,2291	0,2299	0,2306	0,2314	0,2321	0,2328
0,270	0,2335	0,2343	0,2350	0,2357	0,2365	0,2372	0,2379	0,2386	0,2394	0,2401

Scanned with OKEN Scanner

0,280	0,2408	0,2415	0,2422	0,2430	0,2437	0'2444	0,2451	0,2458	0,2465	0,2472
0,290	0,2479	0,2487	0,2494	0,2501	0,2508	0,2515	0,2522	0,2529	0,2536	0,2543
0,300	0,2550	0,2557	0,2564	0,2571	0,2578	0,2585	0,2592	0,2599	0,2606	0,2613
0,310	0,2619	0,2626	0,2633	0,2640	0,2647	0,2654	0,2661	0,2668	0,2674	0,2681
0,320	0,2688	0,2695	0,2702	0,2708	0,2715	0,2722	0,2729	0,2735	0,2742	0,2749
0,330	0,2755	0,2762	0,2769	0,2776	0,2782	0,2789	0,2796	0,2802	0,2809	0,2815
0,340	0,2822	0,2829	0,2835	0,2842	0,2848	0,2855	0,2861	0,2868	0,2874	0,2881
0,350	0,2887	0,2894	0,2900	0,2907	0,2913	0,2920	0,2926	0,2933	0,2939	0,2946
0,360	0,2952	0,2958	0,2965	0,2971	0,2978	0,2984	0,2990	0,2997	0,3003	0,3009
0,370	0,3015	0,3022	0,3028	0,3034	0,3041	0,3047	0,3053	0,3059	0,3066	0,3072
0,380	0,3078	0,3084	0,3090	0,3097	0,3103	0,3109	0,3115	0,3121	0,3127	0,3133
0,390	0,3139	0,3146	0,3152	9,3158	0,3164	0,3170	0,3176	0,3182	0,3188	0,3194
0,400	0,3200	0,3206	0,3212	0,3218	0,3224	0,3230	0,3236	0,3242	0,3248	0,3254
0,410	0,3259	0,3265	0,3271	0,3277	0,3283	0,3287	0,3295	0,3301	0,3306	0,3312
0,420	0,3318	0,3324	0,3330	0,3335	0,3341	0,3347	0,3353	0,3358	0,3364	0,3370
0,430	0,3375	0,3381	0,3387	0,3393	0,3398	0,3404	0,3410	0,3415	0,3421	0,3426
0,440	0,3432	0,3438	0,3443	0,3449	0,3454	0,3460	0,3465	0,3471	0,3476	0,3482
0,450	0,3487	0,3493	0,3498	0,3504	0,3509	0,3515	0,3520	0,3526	0,3531	0,3537
0,460	0,3542	0,3547	0,3553	0,3558	0,3564	0,3569	0,3574	0,3580	0,3585	0,3590
0,470	0,3595	0,3601	0,3606	0,3611	0,3617	0,3622	0,3627	0,3632	0,3638	0,3643
0,480	0,3648	0,3653	0,3658	0,3664	0,3669	0,3674	0,3679	0,3684	0,3689	0,3694
0.490	0,3699	0,3705	0,3710	0,3715	0,3720	0,3725	0,3730	0,3735	0,3740	0,3745
0,500	0,3750	0,3755	0,3760	0,3765	0,3770	0,3775	0,3780	0,3785	0,3790	0,3795
0,510	0,3799	0,3804	0,3809	0,3814	0,3819	0,3824	0,3829	0,3834	0,3838	0,3843
0,520	0,3848	0,3853	0,3858	0,3862	0,3867	0,3872	0,3877	0,3881	0,3886	0,3891
0,530	0,3895	0,3900	0,3905	0,3910	0,3914	0,3919	0,3924	0,3928	0,3933	0,3937
0,540	0,3942	0,3947	0,3951	0,3956	0,3960	0'3965	0'3969	0,3974	0,3978	0,3983
0,550	0,3987									

Scanned with OKEN Scanner

Secțiunea A_a a armăturii se determină cu relația

$$A_a = \frac{\mu\%}{100} b h_0; \qquad \text{(VI.34)}$$

sau

$$A_a = \frac{M}{R_a \xi h_0}. \qquad \text{(VI.35)}$$

Tabela VI.9

Tabelă pentru determinarea valorilor ξ în funcție de B_0

B_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,000	0,0000	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0071	0,0081	0,0091
0,010	0,0101	0,0111	0,0121	0,0131	0,0141	0,0151	0,0161	0,0171	0,0182	0,0192
0,020	0,0202	0,0212	0,0222	0,0233	0,0243	0,0253	0,0263	0,0274	0,0284	0,0294
0,030	0,0305	0,0315	0,0325	0,0336	0,0346	0,0356	0,0367	0,0377	0,0388	0,0398
0,040	0,0408	0,0419	0,0429	0 0440	0,0450	0,0461	0,0471	0,0482	0,0492	0,0503
0,050	0,0513	0,0524	0,0534	0,0545	0,0555	0,0566	0,0577	0,0587	0,0598	0,0609
0,060	0,0619	0,0630	0,0641	0,0651	0,0662	0,0673	0,0683	0,0694	0,0705	0,0715
0,070	0,0726	0,0737	0,0748	0 0759	0,0770	0,0780	0,0791	0,0802	0,0813	0,0824
0,080	0 0835	0,0846	0,0857	0,0868	0,0879	0,0890	0,0901	0,0912	0,0923	0,0934
0,090	0,0945	0,0956	0,0967	0,0978	0,0989	0,100	0,101	0,102	0,103	0,105
0,100	0,106	0,107	0,108	0,109	0,110	0,111	0,112	0,113	0,115	0,116
0 110	0,117	0,118	0,119	0,120	0,121	0 123	0,124	0,125	0,126	0,127
0,120	0,128	0,129	0 131	0,132	0,133	0,134	0,135	0,136	0,137	0,139
0,130	0,140	0,141	0,142	0,143	0,144	0,146	0,147	0,148	0,149	0,150
0,140	0,152	0,153	0,154	0,155	0,156	0,157	0,159	0,160	0,161	0,162
0,150	0,163	0,165	0,166	0,167	0,168	0,169	0,171	0,172	0,173	0,174
0,160	0,175	0,177	0,178	0,179	0,180	0,181	0,183	0,184	0,185	0,186
0,170	0,188	0,189	0,190	0,191	0,193	0 194	0,195	0,196	0,198	0,199
0,180	0,200	0,201	0,203	0,204	0,205	0,206	0,208	0 209	0,210	0,211
0,190	0,213	0,214	0,215	0,216	0,218	0,219	0,220	0 222	0,223	0,224
0,200	0,225	0,227	0,228	0,229	0,231	0,232	0,233	0,234	0,236	0,237
0,210	0,238	0,240	0,241	0,242	0,244	0,245	0,246	0,248	0,249	0,250
0,220	0,252	0,253	0,254	0,256	0 257	0 258	0,260	0,261	0,262	0,264
0,230	0,265	0,267	0,268	0,269	0,271	0,272	0,273	0,275	0,276	0,278
0,240	0,279	0,280	0,282	0,283	0,284	0,286	0,287	0,289	0,290	0,291
0 250	0,293	0,294	0,296	0,297	0,299	0,300	0,301	0,303	0,304	0 306
0,260	0,307	0,309	0,310	0,312	0,313	0,314	0,316	0,317	0,319	0,320
0,270	0,322	0,323	0,325	0,326	0,328	0,329	0,331	0,332	0,334	0,335
0,280	0,337	0,339	0,340	0,341	0,343	0,344	0,346	0,347	0,349	0,350
0,290	0,352	0 354	0,355	0,357	0,358	0,360	0,361	0,363	0,364	0,366
0,300	0,368	0 369	0,371	0,372	0,374	0,375	0,377	0 379	0,380	0,382
0,310	0,384	0,385	0,387	0,388	0 390	0,392	0,393	0,395	0,397	0,398
0,320	0,400	0,402	0,403	0,405	0,407	0,408	0,410	0,412	0,413	0,415
0,330	0,417	0 419	0,420	0,422	0,424	0,426	0,427	0,429	0,431	0,433
0,340	0,434	0,436	0,438	0,440	0,441	0,443	0,445	0,447	0,449	0,450
0,350	0 452	0,454	0,456	0,458	0,460	0,461	0,463	0,465	0,467	0,469
0,360	0,471	0,473	0,475	0,477	0,479	0,480	0,482	0,484	0,486	0,488
0,370	0,490	0,492	0,494	0,496	0,498	0,500	0,502	0,504	0,506	0,508
0,380	0,510	0,512	0,514	0,516	0,518	0,520	0,523	0,525	0,527	0,529
0,390	0,531	0,533	0,535	0,537	0,540	0,542	0,544	0,546	0,548	0,551
0,400	0,553									

Scanned with OKEN Scanner

b) Se determină coeficientul B_0 din relația

$$B_0 = \frac{M}{bh_0^2 R_t}. \qquad \text{(VI.36)}$$

Din tabela VI.7 și pentru a evita interpolarea din tabela VI.8 sau VI.9 se găsește valoarea lui ξ corespunzătoare valorii B_0 calculate.

Secțiunea necesară a armăturii se determină din relația

$$A_a = \xi \frac{R_t}{R_a} bh_0. \qquad \text{(VI.37)}$$

Folosind tabela VI.7 se poate determina, pentru marca dată de beton și tipul armăturii respective, valoarea procentului de armare, corespunzătoare coeficientului B_0 calculat. De asemenea se poate determina valoarea constantei ζ.

Secțiunea necesară a armăturii se determină cu ajutorul relațiilor (VI.34) sau (VI.35) ca în cazul precedent.

c) Se calculează valoarea r:

$$r = \frac{h_0}{\sqrt{\frac{M}{b}}}. \qquad \text{(VI.38)}$$

Din tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6, pentru tipul dat al armăturii și pentru marca indicată a betonului, se determină valoarea procentului de armare sau a coeficientului ζ, corespunzătoare valorii r calculate.

Secțiunea necesară a armăturii se determină cu ajutorul relațiilor (VI.34) sau (VI.35).

d) Se calculează valoarea r_0

$$r_0 = \frac{h_0}{\sqrt{\frac{M}{bR_t}}}. \qquad \text{(VI.39)}$$

Din tabela VI.7 se determină coeficientul ζ sau pentru tipul dat al armăturii și pentru marca indicată a betonului rezultă valoarea procentului de armare μ.

Secțiunea necesară a armăturii se determină cu ajutorul relațiilor (VI.34) sau (VI.35).

2) Se dau sau se aleg lățimea b a secțiunii, marca betonului, tipul armăturii, procentul de armare, precum și valoarea M a momentului încovoietor de calcul.

Se cere să se determine înălțimea secțiunii.

Scanned with OKEN Scanner

Problema se poate rezolva în felul următor:

a) În funcție de marca betonului și de tipul armăturii se determină din tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6, valoarea r corespunzătoare procentului dat de armare. Înălțimea h_0 a secțiunii se calculează cu ajutorul relației (VI.20)

$$h_0 = r\sqrt{\frac{M}{b}}.$$

b) Pentru caracteristici necuprinse în tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6, se determină valoarea coeficientului ξ cu ajutorul relației

$$\xi = \mu \frac{R_a}{R_i}. \qquad \text{(VI.40)}$$

Din tabela VI.7 se determină valoarea coeficientului r_0 corespunzătoare valorii ξ calculate. Înălțimea utilă h_0 a secțiunii se determină cu ajutorul relației (VI.24).

$$h_0 = r_0\sqrt{\frac{M}{bR_i}}.$$

Valoarea h a înălțimii totale a secțiunii se determină cu relația

$$h = h_0 + a. \qquad \text{(VI.41)}$$

3) Se dau sau se aleg dimensiunile b și h ale secțiunii, marca betonului, tipul armăturii și secțiunea A_a a armăturii.

Se cere să se determine valoarea de calcul a momentului încovoietor.

Problema se poate rezolva în felul următor:

a) Se determină procentul de armare

$$\mu\% = \frac{A_a}{bh_0}100. \qquad \text{(VI.42)}$$

Din tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6, se determină, pentru marca dată de beton și pentru tipul indicat de armătură, valoarea B sau valoarea ζ, corespunzătoare valorii μ calculate.

Momentul încovoietor de calcul preluat de secțiunea dată se determină cu relația (VI.23)

$$M = B\,b\,h_0^2$$

sau cu relația

$$M = A_a\,R_a\,\zeta\,h_0. \qquad \text{(VI.43)}$$

Scanned with OKEN Scanner

b) Pentru caracteristici necuprinse în tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6, se determină valoarea ξ din relația

$$\xi = \frac{A_a R_a}{b h_0 R_t}. \qquad \text{(VI.44)}$$

Din tabela VI.7 se determină valoarea coeficientului B_0 sau ζ, corespunzătoare valorii ξ calculate. Pentru a evita interpolarea, valoarea lui B_0 se poate determina din tabela VI.8.

Momentul încovoietor de calcul preluat de secțiunea dată se determină cu ajutorul relației (VI.43) sau (VI.27).

Aceste indicații se referă la cazul cînd calculele se efectuează cu ajutorul tabelelor. Trebuie menționat că în numeroase cazuri se poate să nu se recurgă la tabele, efectuînd calculul direct cu ajutorul relațiilor fundamentale. La așezarea armăturii trebuie să se țină seama de dimensiunile minime ale stratului de acoperire și de distanțele minime dintre bare, indicate în cap. II.

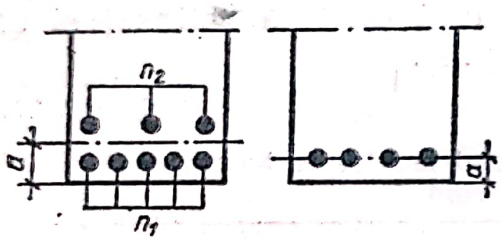


Tabela VI.10

Tabelă pentru determinarea distanței a (cm) de la centrul de greutate al armăturii pînă la fibra exterioară întinsă

n_1	n_2	Diametrul armăturii, mm										
		12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
n	0	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00	3,60	3,75	3,90	4,10	4,80	5,00
3	2	4,08	4,26	4,44	4,62	4,80	5,48	5,75	6,14	6,66	7,68	8,20
4	2	3,83	4,00	4,16	4,33	4,50	5,16	5,41	5,76	6,23	7,20	7,66
4	3	4,19	4,37	4,56	4,74	4,93	5,61	5,89	6,30	6,84	7,89	8,43
5	2	3,66	3,81	3,97	4,13	4,28	4,94	5,18	5,50	5,93	6,86	7,29
5	3	3,99	4,18	4,34	4,51	4,69	5,36	5,62	6,00	6,50	7,50	8,00
5	4	4,24	4,43	4,62	4,81	5,00	5,70	5,97	6,39	6,94	8,00	8,56
6	2	3,52	3,67	3,82	3,97	4,12	4,77	5,00	5,30	5,70	6,60	7,00
6	3	3,83	4,00	4,17	4,33	4,50	5,17	5,42	5,77	6,23	7,20	7,67
6	4	4,08	4,26	4,44	4,62	4,80	5,48	5,75	6,14	6,66	7,68	8,20
6	5	4,29	4,47	4,66	4,86	5,04	5,74	6,02	6,45	7,01	8,07	8,64
7	2	3,42	3,57	3,71	3,86	4,00	4,64	4,86	5,15	5,52	6,40	6,78
7	3	3,71	3,87	4,03	4,19	4,35	5,01	5,25	5,58	6,02	6,96	7,40
7	4	3,95	4,12	4,29	4,46	4,63	5,31	5,57	5,94	6,43	7,42	7,91
7	5	4,14	4,32	4,51	4,69	4,87	5,56	5,83	6,23	6,77	7,80	8,33
7	6	4,31	4,50	4,69	4,88	5,08	5,77	6,05	6,49	7,05	8,12	8,69
8	2	3,34	3,48	3,62	3,76	3,90	4,54	4,75	5,02	5,38	6,24	6,60
8	3	3,61	3,76	3,92	4,07	4,23	4,88	5,11	5,43	5,85	6,77	7,18
8	4	3,83	4,00	4,17	4,33	4,50	5,17	5,41	5,77	6,23	7,20	7,57
8	5	4,02	4,20	4,38	4,55	4,73	5,41	5,67	6,05	6,56	7,57	8,08
8	6	4,18	4,37	4,55	4,74	4,93	5,61	5,89	6,30	6,84	7,89	8,43
8	7	4,32	4,52	4,71	4,90	5,10	5,79	6,08	6,51	7,09	8,16	8,73
n	*n*	4,45	4,65	4,85	5,05	5,25	5,95	6,25	6,70	7,30	8,40	9,00

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a ușura operația de așezare a armăturii se dau în tabela VI.10 distanțele minime de la centrul de greutate al armăturii întinse pînă la marginea alăturată a secțiunii de beton și din tabela VI.11 rezultă lățimea minimă a grinzii (în cm) cînd armătura întinsă este compusă din 2—10 bare așezate pe un singur rînd.

Tabela VI.10 se poate folosi în cazurile cînd armătura este așezată pe un rînd sau pe două rînduri.

S-a notat cu n_1 numărul de bare așezate pe primul rînd (rîndul cel mai apropiat de fața întinsă) și cu n_2 numărul de bare pe al doilea rînd. Atît pentru tabela VI.10, cît și pentru tabela VI.11, s-a considerat că toate barele au același diametru.

La folosirea tabelei VI.11 se va ține seama că lățimea minimă a grinzii este dată de rîndul cu cele mai multe bare (în mod obișnuit, rîndul cel mai apropiat de fața întinsă) și se rotunjește la valorile indicate în cap. II.

Tabela VI.11

Tabelă pentru determinarea numărului maxim de bare așezate pe un singur rînd

Diametrul armăturii mm	Numărul barelor întinse așezate pe un rînd								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	8,5	12,0	15,5	19,0	22,5	26,0	29,5	33,0	36,5
12	8,9	12,6	16,3	20,0	23,7	27,4	31,1	34,8	38,5
14	9,3	13,2	17,1	21,0	24,9	28,8	32,7	36,6	40,5
16	9,7	13,8	17,9	22,0	26,1	30,2	34,3	38,4	42,5
18	10,1	14,4	18,7	23,0	27,3	31,6	35,9	40,2	44,5
20	10,5	15,0	19,5	24,0	28,5	33,0	37,5	42,0	46,5
22	11,9	16,6	21,3	26,0	30,7	35,4	40,1	44,8	49,5
25	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5
28	13,4	19,0	24,6	30,2	35,8	41,4	47,0	52,6	58,2
32	14,6	21,0	27,4	33,8	40,2	46,6	53,0	59,4	65,8
36	16,8	24,0	31,2	38,4	45,6	52,8	60,0	67,2	74,4
40	18,0	26,0	34,0	42,0	50,0	58,0	66,0	74,0	82,0

Tabelele VI.10 și VI.11 pot fi folosite pentru alcătuirea secțiunilor dreptunghiulare, T, I sau casetate, supuse atît la încovoiere, cît și la alte solicitări.

c. *Exemple de calcul*

Exemplul VI.1. Să se determine momentul capabil pentru secțiunea din fig. VI.6, cunoscînd: secțiunea dreptunghiulară

Scanned with OKEN Scanner

$b=25$ cm, $h=50$ cm; armătura din oțel PC 52, 4 bare ∅ 20 mm, $A_a=12{,}56$ cm^2; betonul de marcă B 300;
pentru B 300, $R_t=160$ kgf/cm^2;
pentru PC 52, $R_a=2\,900$ kgf/cm^2.
Se admite acoperirea de beton de 2,5 cm

$$a=2{,}5+\frac{d}{2}=3{,}5 \text{ cm}.$$

$$h_0=h-a=50-3{,}5=46{,}5 \text{ cm}$$

$$\mu\,\%=\frac{A_a}{bh_0}100=\frac{12{,}56}{25\times 46{,}5}100=1{,}08\%.$$

Din tabela VI.5 se obține, interpolînd liniar, $B=28{,}25$.

$$M=B\,b\,h_0^2=28{,}25\times 25\times 46{,}5^2=$$
$$=1\,527\,000 \text{ kgfcm}=15{,}27 \text{ tfm}.$$

De asemenea, din tabela VI.5 se poate folosi valoarea ζ.

Pentru $\mu=1{,}08\%$ se obține $\zeta=0{,}902$

$$M=A_a\,R_a\,\zeta\,h_0=12{,}56\times 2\,900\times$$
$$\times 0{,}902\times 46{,}5=1\,527\,000 \text{ kgfcm}.$$

Se poate determina valoarea momentului de calcul și fără a folosi tabelele:

$$x=\frac{A_aR_a}{bR_t}=\frac{12{,}56\times 2\,900}{25\times 160}=9{,}1 \text{ cm}$$

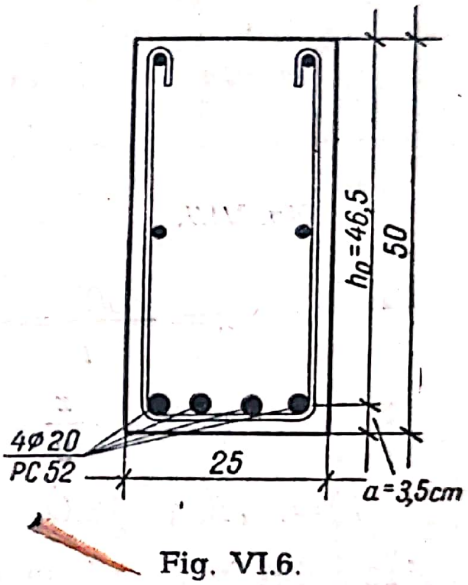


Fig. VI.6.

$$M=b\,x\,R_t\left(h_0-\frac{x}{2}\right)=25\times 9{,}1\times 160\,(46{,}5-4{,}55)=1\,527\,000 \text{ kgfcm}$$

sau

$$z=h_0-\frac{x}{2}=46{,}5-4{,}55=41{,}95 \text{ cm}$$

$$M=A_a\,R_a\,z=12{,}56\times 2\,900\times 41{,}95=1\,527\,000 \text{ kgfcm}.$$

Exemplul VI.2. Să se determine valoarea de calcul a momentului care poate fi preluat de secțiunea dreptunghiulară din fig. VI.7, cunoscînd: $b=20$ cm și $h=40$ cm; armătura din oțel OL 38, 6 bare ∅ 16 mm; $A_a=12{,}06$ cm^2; betonul B 200 cu $R_t=100$ kgf/cm^2 și $R_a=2\,100$ kgf/cm^2.

Din tabela VI.11 se vede că barele nu se pot așeza pe un singur rînd, deci se așază patru bare pe primul rînd și două

Scanned with OKEN Scanner

pe al doilea. Din tabela VI.10, pentru $n_1=4$ și $n_2=2$ se obține $a=4{,}16$ cm.

$$h_0=h-a=40-4{,}16=35{,}84 \text{ cm}$$

$$\mu_0/^0=\frac{12{,}06}{20\times 35{,}84}100=1{,}68\%_0.$$

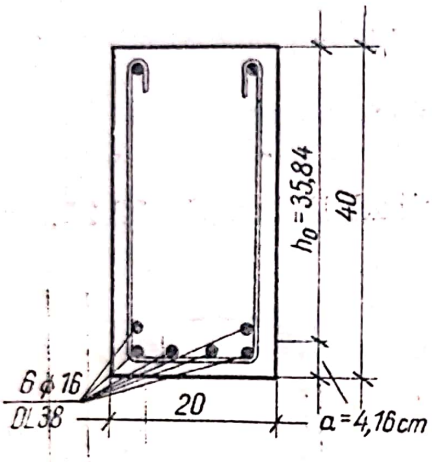


Fig. VI.7.

Din tabela VI.3 se obține pentru $\mu=1{,}68\%$, $B=29{,}06$ și $\zeta=0{,}824$

$$M=B\,b\,h_0^2=29{,}06\times 20\times 35{,}84^2=$$

$$=746\,000 \text{ kgfcm}=7{,}46 \text{ tfm}=$$

sau

$$M=A_a\,R_a\,\zeta\,h_0=$$

$$=12{,}06\times 2\,100\times 0{,}824\times 35{,}84=$$

$$=746\,000 \text{ kgfcm}.$$

Se poate determina valoarea de calcul a momentului și fără a folosi tabelele:

$$x=\frac{A_aR_a}{bR_i}=\frac{12{,}06\times 2\,100}{20\times 100}=12{,}68 \text{ cm}$$

$$z=h_0-\frac{x}{2}=35{,}84-6{,}34=29{,}50 \text{ cm}$$

$$M=A_a\,R_a\,z=12{,}06\times 2\,100\times 29{,}50=746\,000 \text{ kgfcm}.$$

Exemplul VI.3. Să se determine momentul capabil pentru secțiunea dreptunghiulară a unui element de beton armat supus la încovoiere, cunoscînd: $b=20$ cm și $h=30$ cm; armătura $3\varnothing 20$ mm din oțel PC 60; $A_a=9{,}41$ cm^2; betonul B 200 cu $R_i=100$ kgf/cm^2 și $R_a=3\,400$ kgf/cm^2.

$$a=3 \text{ cm}; \qquad h_0=h-a=30-3=27 \text{ cm}$$

$$\mu\%_0=\frac{A_a}{bh_0}100=\frac{9{,}41}{20\times 27}100=1{,}74\%_0.$$

Din tabela VI.2 precum și din tabela VI.6 rezultă că $\mu_{max}=1{,}62\%_0$.

Deci $\mu>\mu_{max}$.

$$\xi=\mu\frac{R_a}{R_i}=0{,}575>0{,}55.$$

$M_{max}=0{,}4\,b\,h_0^2\,R_i=0{,}4\times20\times27^2\times100=582\,000$ kgfcm$=5{,}82$ tfm. La starea limită, efortul unitar din armătură nu atinge valoarea $R_a=3\,400$ kgf/cm^2.

Exemplul VI.4. Să se determine secțiunea necesară a armăturii întinse pentru o grindă cu secțiunea dreptunghiulară, cunoscînd: $b=20$ cm și $h=60$ cm; momentul de calcul $M=14$ tfm; marca betonului B 250; tipul armăturii TOR 57.

Se consideră $a=3$ cm; $h_0=h-a=60-3=57$ cm

$$r=\frac{h_0}{\sqrt{\frac{M}{b}}}=\frac{57}{\sqrt{\frac{1\,400\,000}{20}}}=0{,}216.$$

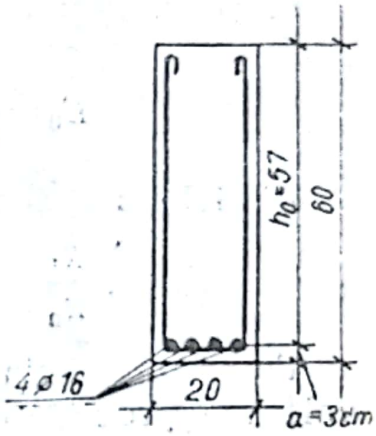


Fig. VI.8.

Din tabela VI.6, pentru $r=0{,}216$ se obține $\mu=0{,}7\%$.

Calculul se mai poate face determinînd valoarea B

$$B=\frac{M}{bh_0^2}=\frac{1\,400\,000}{20\times57^2}=21{,}5.$$

Din tabela VI.6 se obține $\mu=0{,}7\%$.

$$A_a=\mu\,b\,h_0=\frac{0{,}7}{100}\times20\times57=7{,}98\ \text{cm}^2.$$

Secțiunea se armează cu 4 bare ∅ 16 mm; $A_a=8{,}04$ cm^2 (fig. VI.8).

Armăturile se așază pe un singur rînd și rezultă acoperirea de 2,2 cm.

Exemplul VI.5. Să se determine armarea necesară unei plăci, cunoscînd: $h=10$ cm și $M=0{,}6$ tfm; beton B 200 cu $R_i=100$ kgf/cm^2; tipul armăturii OL 38 cu $R_a=2\,100$ kgf/cm^2.

Se consideră: $a=1{,}5$ cm; $h_0=h-a=10-1{,}5=8{,}5$ cm.

Presupunînd că se folosește numai tabela VI.9, se determină

$$B_0=\frac{M}{bh_0^2R_t}=\frac{60\,000}{100\times8{,}5^2\times100}=0{,}083.$$

Din tabela VI.9 se obține direct, pentru $B_0=0{,}083$, valoarea $\xi=0{,}0868$, cu ajutorul căreia se determină secțiunea necesară a armăturii

$$A_a=\xi\,\frac{R_t}{R_a}\,b\,h_0=0{,}0868\,\frac{100}{2\,100}\,100\times8{,}5=3{,}52\ \text{cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Folosind tabelele respective se alege armarea cu 7 ∅ 8 mm (A_a=3,52 cm^2).

Exemplul VI.6. Să se determine armătura necesară pentru grinda încovoiată de secțiune dreptunghiulară, cunoscînd:

b=25 cm, h=40 cm și M=15 tfm; beton B 400 cu R_i=210 kgf/cm^2; armătura PC 52 cu R_a=2 900 kgf/cm^2.

Se consideră: a=3 cm; $h_0=h-a$=37 cm

$$B_0=\frac{M}{bh_0^2R_i}=\frac{1\,500\,000}{25\times37^2\times210}=0{,}208.$$

Din tabela VI.9 se obține direct ξ=0,236

$$A_a=\xi\,\frac{R_i}{R_a}\,b\,h_0=0{,}236\,\frac{210}{2\,900}\,25\times37=15{,}7\ \text{cm}^2.$$

Folosind tabela VI.7 se obține direct pentru B_0=0,208 valoarea procentului de armare μ=1,7%

$$A_a=\mu\,b\,h_0=\frac{1{,}7}{100}\,25\times37=15{,}7\ \text{cm}^2.$$

Se aleg 5 ∅ 20 mm (A_a=15,70 cm^2).

Din tabela VI.11 se vede că barele se pot așeza pe un singur rînd, iar din tabela VI.10, rezultă că a=3 cm.

Exemplul VI.7. Să se determine înălțimea necesară a grinzii de beton armat cu secțiune dreptunghiulară, cunoscînd: momentul încovoietor de calcul M=9 tfm; marca betonului B 250 cu R_i=120 kgf/cm^2; tipul armăturii TOR 47 cu R_a=2 800 kgf/cm^2.

Se aleg: b=20 cm și μ=1,1%.

Din tabela VI.4, pentru procentul de armare ales se obține r=0,193.

$$h_0=r\sqrt{\frac{M}{b}}=0{,}193\sqrt{\frac{900\,000}{20}}=41\ \text{cm}$$

$$h=h_0+a.$$

Pentru a ști valoarea lui a trebuie să se aleagă modul de așezare a armăturii:

$$A_a=\mu\,b\,h_0=\frac{1{,}1}{100}\,20\times41=9{,}02\ \text{cm}^2.$$

Se aleg 8 ∅ 12 mm (A_a=9,04 cm^2).

Scanned with OKEN Scanner

Din tabela VI.11 se vede că pe un rînd încap 5 ∅ 12 mm, iar din tabela VI.10 rezultă că dacă $n_1=5$ și $n_2=3$, $a=3{,}99$ cm ≈ 4 cm.

Deci $h=41+4=45$ cm.

În fig. VI.9 se arată modul de alcătuire a secțiunii.

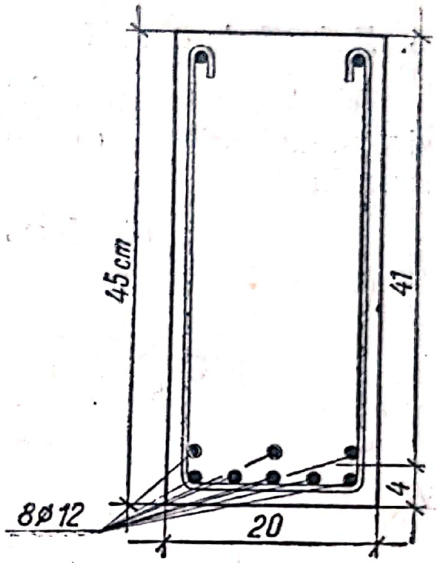


Fig. VI.9.

Exemplul VI.8. Să se dimensioneze la moment încovoietor o grindă de beton armat, de secțiune dreptunghiulară, cunoscînd că grinda este simplu rezemată, cu deschiderea de 6 m și este acționată de următoarele încărcări:

$g^n=1\,000$ kg/m, $n_g=1{,}1$

$p^n=1\,500$ kg/m, $n_p=1{,}4$.

Se va utiliza un beton B 200 cu $R_i=100$ kgf/cm² și un tip de armătură TOR 47 cu $R_a=2\,800$ kgf/cm².

Încărcarea totală de calcul rezultă

$$q=n_g g^n+n_p p^n=$$
$$=1{,}1\times 1000+1{,}4\times 1\,500=$$
$$=3\,200 \text{ kgf/m}.$$

Valoarea maximă a momentului încovoietor de calcul va fi

$$M_{max}=\frac{ql^2}{8}=\frac{3\,200\times 6^2}{8}=14\,400 \text{ kgfm}.$$

Se alege: $b=20$ cm și $\mu=0{,}9\%$.

Din tabela VI.4 se obține $r=0{,}213$

$$h_0=r\sqrt{\frac{M}{b}}=0{,}213\sqrt{\frac{1\,440\,000}{20}}=$$
$$=57 \text{ cm}.$$

Armătura necesară

$$A_a=\mu\, b\, h_0=\frac{0{,}9}{100}\,20\times 57=10{,}25 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 4 ∅ 18 mm ($A_a=10{,}17$ cm²).

Cele patru bare se așază pe un singur rînd deci $a=3$ cm.

$$h=h_0+a=57+3=60 \text{ cm}.$$

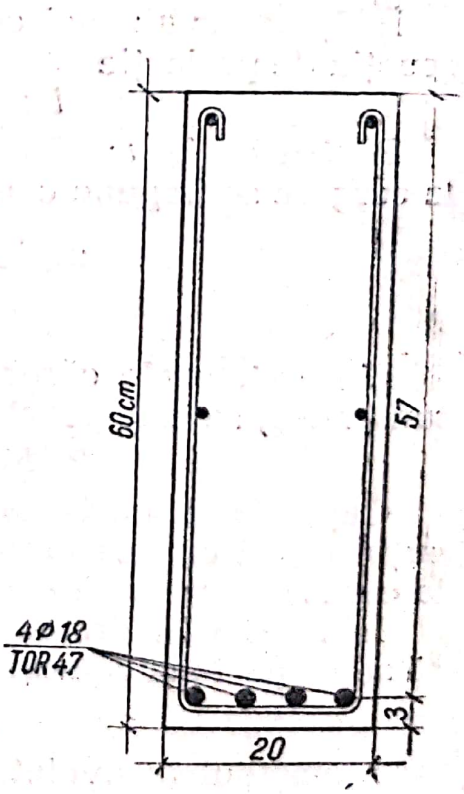


Fig. VI.10.

În fig. VI.10 se arată modul de alcătuire a secțiunii transversale în porțiunea mediană a grinzii.

3. Calculul secțiunilor dreptunghiulare, dublu armate

a. *Relații de calcul*

Valoarea momentului încovoietor preluat de secțiunile dreptunghiulare, dublu armate (fig. VI.11) se determină cu relația

$$M = b\,x\,R_i\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + A'_a R_a\,(h_0 - a'). \qquad \text{(VI.45)}$$

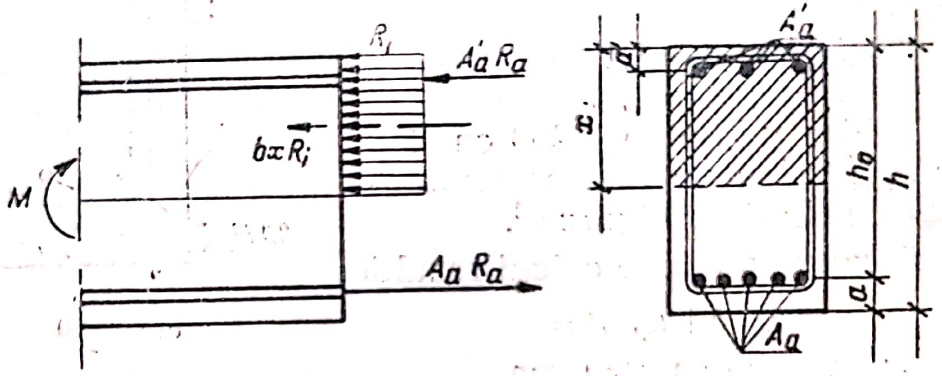


Fig. VI.11.

Înălțimea x a zonei comprimate de beton se determină din ecuația de proiecție

$$b\,x\,R_i = (A_a - A'_a)\,R_a. \qquad \text{(VI.46)}$$

Pentru ca în armătura A'_a efortul unitar să poată ajunge la curgere se impune condiția

$$z = h_0 - \frac{x}{2} \leqslant h_0 - a' \text{ sau} \qquad \text{(VI.47)}$$

$$x \geqslant 2a'. \qquad \text{(VI.48)}$$

Elementele ale căror secțiuni nu respectă condiția (VI.47) sau (VI.48) se calculează cu ajutorul relației

$$M = A_a\,R_a\,(h_0 - a'). \qquad \text{(VI.49)}$$

Capacitatea portantă a secțiunii se va considera însă cel puțin egală cu cea calculată pentru secțiunea simplu armată, la care se neglijează aportul armăturii A'_a.

În secțiunile dreptunghiulare dublu armate se recomandă să se respecte și condiția

$$M \leqslant 0{,}5\,b\,h_0^2\,R_i. \qquad \text{(VI.50)}$$

Momentul încovoietor care solicită secțiunile dreptunghiulare dublu armate se consideră, conform fig. VI.12 că este

Scanned with OKEN Scanner

preluat de zona comprimată a betonului împreună cu o parte din armătura întinsă $A_{a1} = A_a - A'_a$ și de armătura comprimată împreună cu o secțiune echivalentă A'_a din armătura întinsă.

Momentul preluat de zona comprimată a betonului și de armătura corespunzătoare acestei zone $A_{a1} = A_a - A'_a$ se recomandă să fie egal cu momentul maxim capabil $M_1 = 0{,}4\, b\, h^{20}\, R_i$.

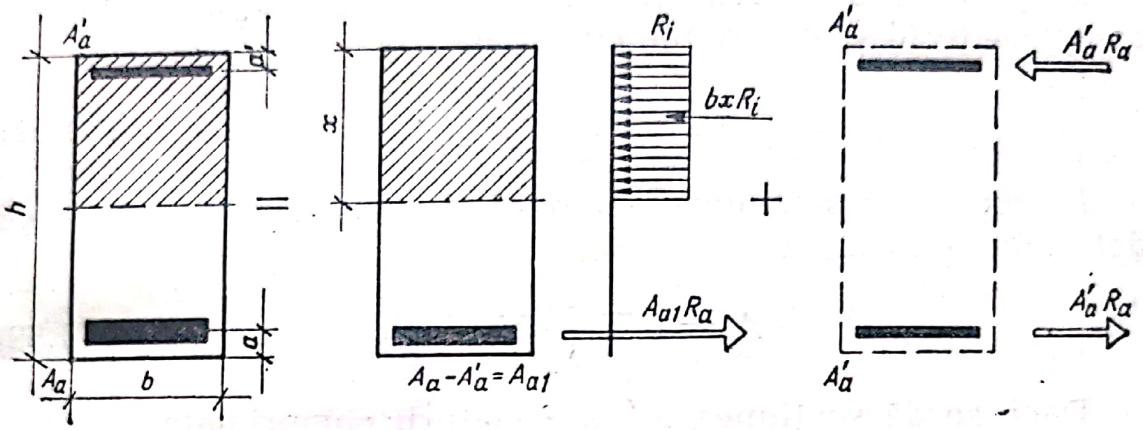


Fig. VI.12.

Rezultă deci că valoarea maximă a momentului preluat de armătura comprimată și de o secțiune echivalentă cu A'_a din armătura întinsă este de $0{,}1\, b\, h_0^2\, R_i$.

În tabela VI.12 se dau valorile procentelor maxime de armare pentru secțiunile dreptunghiulare, dublu armate. Aceste valori s-au determinat din condiția ca momentul maxim să fie egal cu $0{,}5\, b\, h_0^2\, R_i$. În calcule s-a admis că $\chi' = \frac{a'}{h_0} = 0{,}08$.

Dacă procentul de armare $\mu = A_a / b\, h_0$ depășește valorile indicate în tabela VI.12, în calcul nu se poate lua toată

Tabela VI.12

Procentele de armare maxime pentru elementele încovoiate cu secțiune dreptunghiulară dublu armate

$$\mu_{max}\,\% = \frac{A_a}{b h_0} \times 100 = 65{,}87\,\frac{R_i}{R_a}$$

Tipul armăturii	Marca betonului							
	100	150	200	250	300	400	500	600
OL 38	1,73	2,51	3,14	3,76	5,02	6,59	7,84	8,78
TOR 47	1,29	1,88	2,35	2,82	3,76	4,94	5,87	6,59
PC 52	1,25	1,82	2,27	2,73	3,63	4,77	5,68	6,35
PC 60 și TOR 57	1,07	1,55	1,94	2,32	3,10	4,07	4,85	5,43

Scanned with OKEN Scanner

secțiunea armăturii întinse, iar valoarea momentului preluat se consideră egală cu $0{,}5\ bh_0^2\ R_i$. În același timp trebuie să fie respectată condiția

$$\mu_1 = \mu - \mu' \leqslant 0{,}55\ \frac{R_i}{R_a}. \qquad \text{(VI.51)}$$

În proiectare se recomandă ca secțiunea A'_a a armăturii comprimate să se determine cu relația

$$A'_a = \frac{M - 0{,}4bh_0^2R_i}{R_a(h_0 - a')}. \qquad \text{(VI.52)}$$

În acest caz secțiunea necesară A_a a armăturii întinse se determină cu relația

$$A_a = 0{,}55\ \frac{R_i}{R_a}\ bh_0 + A'_a. \qquad \text{(VI.53)}$$

Dacă se dă secțiunea A'_a a armăturii comprimate, calculul se efectuează determinînd mai întîi valoarea M' a momentului încovoietor preluat de armătura comprimată și de o secțiune echivalentă cu A'_a din armătura întinsă

$$M' = A'_a\ R_a\ (h_0 - a') \qquad \text{(VI.54)}$$

Se calculează apoi secțiunea dreptunghiulară ca o secțiune simplu armată supusă la momentul încovoietor $M_1 = M - M'$. Considerînd A_{a1} secțiunea necesară de armătură pentru preluarea momentului M_1, secțiunea totală A_a a armăturii întinse se determină cu relația

$$A_a = A_{a1} + A'_a. \qquad \text{(VI.55)}$$

Armarea dublă este neeconomică și trebuie adoptată numai după folosirea integrală a capacității betonului comprimat și a armăturii întinse. Se recomandă să se proiecteze elemente dublu armate numai cînd nu este posibilă mărirea secțiunii sau sporirea mărcii betonului.

b. *Modul practic de calcul*

Calculul elementelor încovoiate de beton armat cu secțiune dreptunghiulară, dublu armate, se poate face folosind aceleași tabele ca și pentru calculul secțiunilor dreptunghiulare, simplu armate.

Scanned with OKEN Scanner

În practică pot apare următoarele cazuri:

1) Se dau dimensiunile secțiunii b și h, marca betonului, tipul armăturii și valoarea momentului încovoietor de calcul.

Se cere să se determine secțiunea necesară a armăturii întinse A_a și a armăturii comprimate A'_a.

Problema se poate rezolva după cum se arată în continuare.

Se calculează valoarea lui B cu relația (VI.33)

$$B = \frac{M}{bh_0^2}.$$

Pentru a fi necesară armarea dublă trebuie să fie respectată relația

$$B > B_{max} = 0{,}4\, R_i. \qquad \text{(VI.56)}$$

Dacă $B > 0{,}5\, R_i$, trebuie modificată secțiunea.

Secțiunea armăturii comprimate A'_a se determină cu relația

$$A'_a = \frac{(B - B_{max})\, bh_0^2}{R_a (h_0 - a')}; \qquad \text{(VI.57)}$$

sau

$$A'_a = \frac{M - B_{max}\, bh_0^2}{R_a (h_0 - a')}. \qquad \text{(VI.58)}$$

Secțiunea armăturii întinse A_a se determină cu relația

$$A_a = \frac{\mu_{max}}{100} bh_0 + A'_a. \qquad \text{(VI.59)}$$

Valorile procentelor maxime de armare sînt date în tabela VI.2.

2) Se dau dimensiunile b și h ale secțiunii transversale, marca betonului, tipul armăturii, secțiunea armăturii comprimate A'_a, precum și valoarea momentului încovoietor de calcul.

Se cere să se determine secțiunea necesară a armăturii întinse.

Problema se rezolvă după cum se arată în continuare.

Se determină partea din momentul încovoietor preluată de armătura comprimată A'_a și de secțiunea echivalentă cu aceasta din armătura întinsă (VI.54)

$$M' = A'_a R_a (h_0 - a').$$

Din valoarea de calcul a momentului încovoietor se scade momentul M' și se calculează sectiunea simplu armată supusă

Scanned with OKEN Scanner

la momentul $M_1 = M - M'$, conform indicațiilor de la pct. 2, *b*. Se determină de exemplu valoarea B_1

$$B_1 = \frac{M_1}{bh_0^2}. \qquad \text{(VI.60)}$$

Din tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6, pentru marca dată de beton și pentru tipul indicat de armătură se determină valoarea coeficientului ζ corespunzătoare valorii B_1 calculate.

Secțiunea necesară a armăturii întinse se determină cu relația

$$A_a = A_{a1} + A'_a = \frac{M_1}{R_a \zeta h_0} + A'_a. \qquad \text{(VI.61)}$$

3) Se dau dimensiunile secțiunii transversale b și h, secțiunea armăturilor A_a și A'_a, tipul armăturii și marca betonului.

Se cere să se determine momentul capabil de calcul.

Calculul se efectuează după cum se arată în continuare.

Se determină procentul de armare pentru armătura întinsă

$$\mu\,\% = \frac{A_a}{bh_0}\,100.$$

Se verifică dacă procentul de armare nu depășește valoarea corespunzătoare din tabela VI.12.

Se determină procentul convențional de armare μ_1 cu relația

$$\mu_1 = \mu - \frac{A'_a}{bh_0} = \frac{A_a - A'_a}{bh_0}. \qquad \text{(VI.62)}$$

Din tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6, pentru marca dată de beton și pentru tipul indicat de armătură se determină valoarea lui B_1 corespunzătoare procentului de armare μ_1.

Valoarea momentului capabil se determină cu relația

$$M = B_1 b h_0^2 + A'_a R_a (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.63)}$$

Dacă pentru procentul de armare μ_1 rezultă $\zeta > 1 - a'/h_0$, valoarea momentului capabil se determină cu formula (VI.49), sau ca pentru secțiunea simplu armată, neglijînd armătura A

Dacă $\mu_1 > \mu_{max} = 0{,}55\, R_i/R_a$, valoarea momentului capabil se determină cu relația

$$M = 0{,}4\, b h_0^2 R_i + A'_a R_a (h_0 - a'). \qquad \text{(VI.64)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Trebuie menționat că în numeroase cazuri nu se recurge la tabele, efectuînd calculul cu ajutorul relațiilor (VI.45), (VI.52), (VI.54) și (VI.55).

c. *Exemple de calcul*

Exemplul VI.9. Să se determine armătura necesară pentru grinda cu secțiune dreptunghiulară, cunoscînd $b=20$ cm, $h=40$ cm și momentul încovoietor de calcul $M=11{,}5$ tfm; betonul B 200 cu $R_i=100$ kgf/cm^2; armătura TOR 57 cu $R_a=3\,400$ kgf/cm^2.

Se consideră $a=5$ cm; $h_0=h-a=35$ cm

$$B=\frac{M}{bh_0^2}=\frac{1\,150\,000}{20\times 35^2}=48 \text{ kgf/cm}^2$$

$$B_{max}=0{,}4\,R_i=40 \text{ kgf/cm}^2;\ 0{,}5R_i=50 \text{ kgf/cm}^2$$

$$B_{max}<B<0{,}5\,R_i.$$

Secțiunea transversală fiind impusă, este necesar să se prevadă armare dublă. Se consideră $a'=3$ cm; $h_0-a'=32$ cm.

Se calculează secțiunea necesară a armăturii comprimate A

$$A'_a=\frac{(B-B_{max})bh_0^2}{R_a(h_0-a')}=\frac{(48-40)\,20\times 35^2}{3\,400\times 32}=1{,}8 \text{ cm}^2.$$

Se aleg $2\varnothing 12$ mm ($A'_a=2{,}26$ cm^2).

Avînd o armătură A'_a mai mare decît cea necesară, se determină valoarea $M_1=M-M'$.

$$M'=A'_a\,R_a\,(h_0-a')=2{,}26\times 3\,400\times 32=246\,000 \text{ kgfcm}$$

$$M_1=1\,150\,000-246\,000=904\,000 \text{ kgfcm}.$$

Pentru această valoare a momentului încovoietor se calculează armătura necesară A_{a1} pentru secțiunea simplu armată

$$B_1=\frac{M_1}{bh_0^2}=37\ ;$$

Din tabela VI.6 se obține prin interpolare, pentru B 200, valoarea procentului de armare $\mu_1\%=1{,}44$.

Secțiunea necesară a armăturii întinse rezultă

$$A_a=\frac{\mu_1\%}{100}bh_0+A'_a=\frac{1{,}44}{100}20\times 35+2{,}26=$$
$$=10{,}07+2{,}26=12{,}33 \text{ cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Folosind tabelele, se alege armătura 8 ∅ 14 mm (A_a = =12,30 cm²).

Armătura întinsă se așază pe două rînduri, cîte patru bare pe un rînd (fig. VI.13). Din tabela VI.10 se vede că a_{min} = =4,65 cm. În calcul s-a luat a = =5 cm > a_{min}.

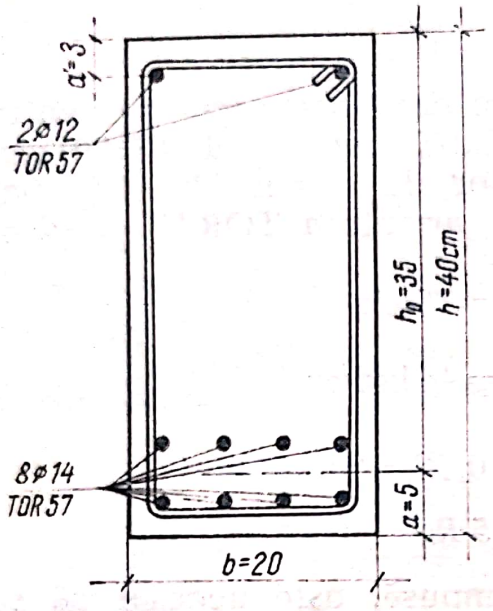


Fig. VI.13.

Exemplul VI.10. Să se determine armătura necesară pentru secțiunea dreptunghiulară, dublu armată, cunoscînd b=25 cm, h= =60 cm și momentul încovoietor de calcul M=17,5 tfm; betonul B 150 cu R_i=80 kgf/cm², tipul armăturii OL38 cu R_a=2100 kgf/cm²; armătura comprimată 4 bare ∅ 16 mm, A'_a =8,04 cm².

Din tabela VI.10 se ia valoarea a'=2,8 cm.

Se consideră a=3 cm

$h_0 = h - a = 57$ cm; $h_0 - a' = 54{,}2$ cm.

Cu ajutorul relației (VI.54) se determină momentul M':

$$M' = A' R_a (h_0 - a') = 8{,}04 \times 2\,100 \times 54{,}2 = 915\,000 \text{ kgfcm}$$

$$M_1 = M - M' = 835\,000 \text{ kgfcm}.$$

Pentru această valoare a momentului încovoietor se calculează armătura necesară A_{a1}

$$B_1 = \frac{M_1}{bh_0^2} = \frac{835\,000}{25 \times 57^2} = 10{,}3 \text{ kgf/cm}^2$$

Din tabela VI.3 se obține ζ=0,93 $\quad \zeta < 1 - \frac{a'}{h_0}$

$$A_a = A_{a1} + A'_a = \frac{M_1}{R_a \zeta h_0} + A' = \frac{835\,000}{2\,100 \times 0{,}93 \times 57} +$$

$$+ 8{,}04 = 7{,}50 + 8{,}04 = 15{,}54 \text{ cm}^2.$$

Se prevăd 5 bare ∅ 20 mm (A_a=15,70 cm²).

Armătura se poate așeza pe un singur rînd și a=3 cm.

Exemplul VI.11. Să se determine momentul capabil pentru grinda cu secțiune dreptunghiulară, dublu armată, cunoscînd

Scanned with OKEN Scanner

$b=25$ cm, $h=70$ cm; betonul B 250 cu $R_i=120$ kgf/cm^2; armătura din TOR 47 cu $R_a=2\,800$ kgf/cm^2; $A'_a=12{,}57$ cm^2 — 4 bare ∅ 20 mm; $A_a=40{,}85$ cm^2 — 13 bare ∅ 20 mm.

Armătura comprimată A'_a se dispune pe un singur rînd. Se ia $a'=3{,}5$ cm$>a'_{min}$.

Armătura întinsă se dispune pe 3 rînduri (fig. VI.14)

$$a=\frac{5\times 3+5\times 7{,}5+3\times 12}{13}=6{,}8\text{ cm}$$

$$h_0=h-a=70-6{,}8=63{,}2\text{ cm}$$

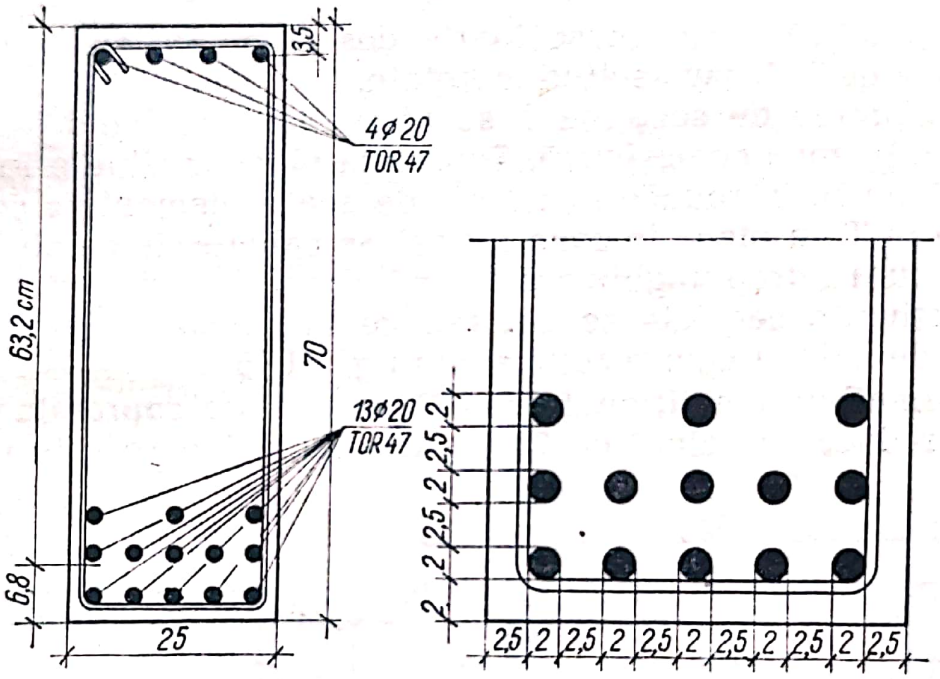


Fig. VI.14.

$$\mu\,\%=\frac{A_a}{bh_0}100=\frac{40{,}85}{25\times 63{,}2}100=2{,}59<2{,}82$$

$$\mu_1\,\%=2{,}59-\frac{12{,}57}{25\times 63{,}2}100=1{,}79,$$

Din tabela VI.4 se obține valoarea $B_1=39{,}65$ kgf/cm^2

$$B_1<B_{max}=47{,}85\text{ kgf/cm}^2.$$

Valoarea momentului capabil se determină cu relația (VI.63)

$$M=B_1\,b\,h_0^2+A'_a\,R_a\,(h_0-a')=$$

$$=39{,}65\times 25\times 63{,}2^2+12{,}57\times 2\,800\,(63{,}2-3{,}5)=$$

$$=3\,945\,000+2\,100\,000=6\,045\,000\text{ kgfcm.}$$

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece

$$M > 0{,}5\, b\, h_0^2\, R_i = 0{,}5 \times 25 \times 63{,}2^2 \times 120 = 6\,000\,000 \text{ kgfcm},$$

se consideră $M_{cap} = 60$ tfm.

4. Calculul secțiunilor T, I sau casetate

a. *Relații de calcul*

În practică se întîlnesc foarte des elemente cu secțiunea în formă de T, I, sau secțiuni casetate.

Denumirea de secțiune T se referă la cazul cînd talpa se găsește în zona comprimată. Suprafața plăcilor situate în zona întinsă nu se introduce în calcul, de aceea elementele cu secțiunea în T cu placa în zona întinsă se calculează ca elemente cu secțiunea dreptunghiulară.

Secțiunile casetate se pot reduce în calcul la secțiuni în formă de I, după cum rezultă și din fig. VI.15.

Normativul condiționat P.8—62 prevede ca suprafața plăcii să se reducă în calcul cu 20%. Această reducere este condi-

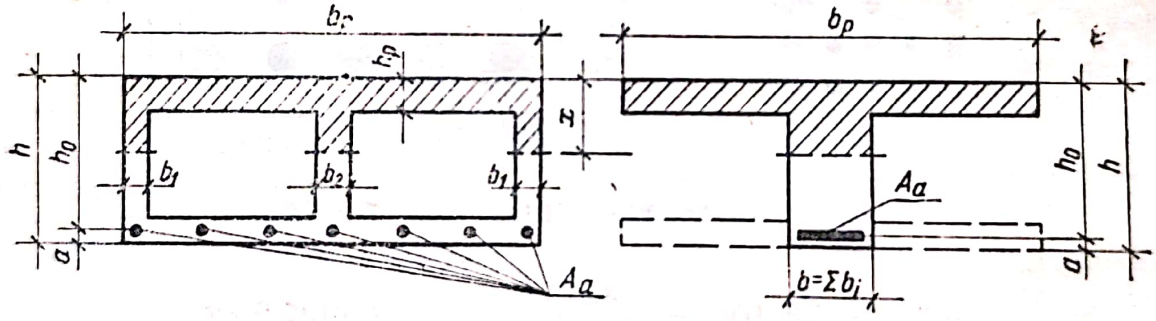


Fig. VI.15.

ționată de faptul că în secțiunea comprimată efortul unitar R_i se atinge numai în dreptul inimii iar în placă, în majoritatea cazurilor, efortul unitar are valoarea $R_{pr} = 0{,}8\, R_i$ (fig. VI.16).

Secțiunile în formă de T apar curent la calculul planșeelor alcătuite din grinzi legate monolit cu plăcile.

Pentru plăcile mărginite pe contur de grinzi cu care sînt legate monolit (fig. VI.17), calculate fără a se ține seamă de împingerile care apar la starea limită, normativul condiționat P.8—62 prevede ca în ecuațiile de moment să se introducă următorii coeficienți ai condițiilor de lucru:

Scanned with OKEN Scanner

— în toate secțiunile din cîmpul deschiderilor intermediare și în cele din dreptul tuturor reazemelor intermediare,

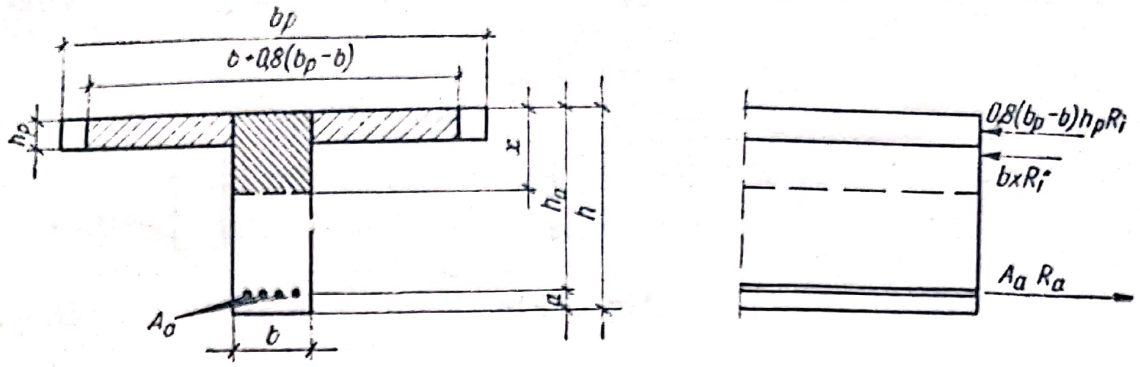


Fig. VI.16.

începînd cu al treilea reazem de la marginea planșeului, $m=1{,}25$;

— în deschiderile marginale și pe al doilea reazem de la marginea planșeului

$$\text{pentru } \frac{l_m}{l} < 1{,}5; \quad m=1{,}25$$

$$\text{pentru } 1{,}5 \leqslant \frac{l_m}{l} < 2; \quad m=1{,}10$$

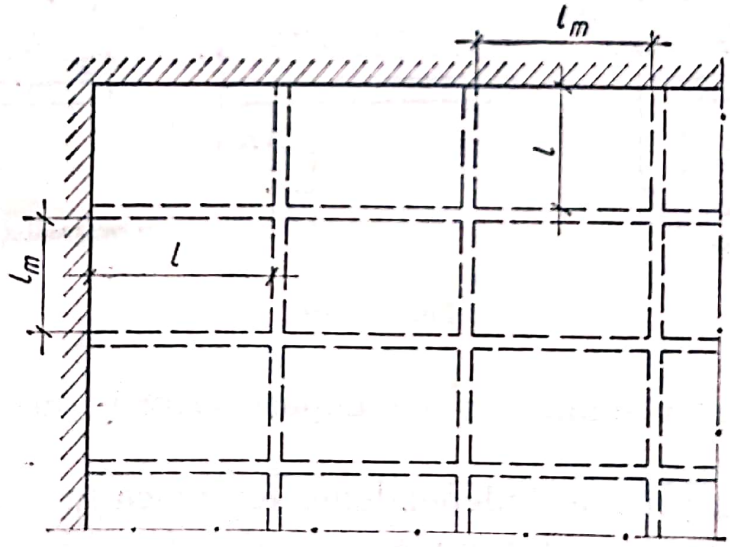


Fig. VI.17.

în care: l_m este deschiderea de calcul a plăcii pe direcția paralelă cu marginea planșeului;

l — deschiderea de calcul pe direcția perpendiculară pe marginea planșeului.

Scanned with OKEN Scanner

Lățimea plăcii b_p, care se ia în considerație în calcul, este egală cu lățimea reală a plăcii, dar cel mult lățimea inimii, la care se adaugă, de fiecare parte, 1/2 din distanța între nervuri

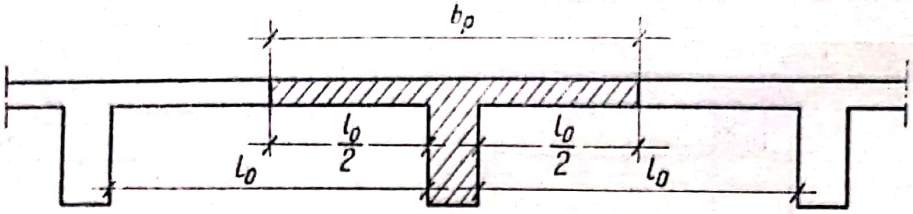


Fig. VI.18.

(lumina) sau 1/6 din deschiderea elementului de calcul (fig. VI.18).

În afară de aceasta, pentru elementele care nu sînt rigidizate prin nervuri transversale (fig. VI.19) lățimea plăcii de

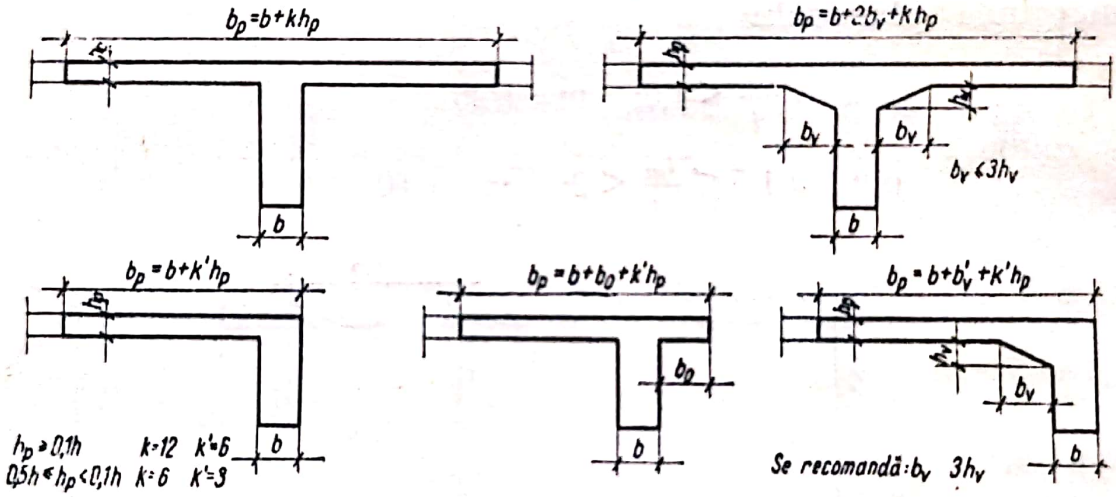


Fig. VI.19.

fiecare parte a inimii nu va depăși valorile menționate în continuare:

— pentru grinzile independente (cu placa în consolă)

dacă $h_p \geqslant 0{,}1\ h$ cel mult $b_v' + 6\ h_p$;
dacă $0{,}05h \leqslant h_p < 0{,}1\ h$ cel mult $b_v' + 3\ h_p$;
dacă $h_p < 0{,}05\ h$ nu se ia în considerație aportul plăcii;

— pentru nervurile planșeelor prefabricate sau monolite cu $h_p < 0{,}1\ h$ cel mult $b_v' + 6\ h_p$,

Scanned with OKEN Scanner

unde b'_v este lățimea de calcul a vutei și se ia egală cu lățimea reală a vutei b_v, însă maximum de 3 ori înălțimea ei

$$b'_v \leqslant 3\, h_v.$$

Calculul elementelor încovoiate, simplu armate, cu secțiunea T, I sau casetată, în cazul în care axa neutră nu cade în inima grinzii se face ca pentru secțiuni dreptunghiulare de lățime $b+0{,}8\,(b_p-b)$.

Axa neutră cade în placă atunci cînd este satisfăcută relația

$$\frac{A_a}{b+0{,}8(b_p-b)}\,\frac{R_a}{R_i} \leqslant h_p \cdot \qquad \text{(VI.65)}$$

Pe baza relației respective se poate determina procentul de armare corespunzător

$$\mu = \frac{A_a}{bh_0} \leqslant \left[1+0{,}8\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\right]\frac{h_p}{h_0}\,\frac{R_i}{R_a} = \alpha_p\,\frac{R_i}{R_a} \qquad \text{(VI.66)}$$

$$\text{în care} \quad \alpha_p = \left[1+0{,}8\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\right]\frac{h_p}{h_0}. \qquad \text{(VI.67)}$$

Relația (VI.65) se poate scrie și sub forma (VI.68), care dacă nu este satisfăcută, armarea trebuie astfel aleasă încît să se obțină $x > h_p$.

$$M \leqslant \left[b+0{,}8\,(b_p-b)\right]h_p R_i\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right) \qquad \text{(VI.68)}$$

sau

$$M \leqslant B_p b h_0^2\, R_i \qquad \text{(VI.69)}$$

$$\text{în care} \quad B_p = \left[1+0{,}8\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\right]\frac{h_p}{h_0}\left(1-0{,}5\,\frac{h_p}{h_0}\right). \qquad \text{(VI.70)}$$

În tabela VI.13 se dau valorile coeficienților α_p și B_p în funcție de rapoartele b_p/b și h_p/h_0.

Atunci cînd axa neutră cade în inimă, deci cînd nu este satisfăcută relația (VI.65), în calcul se va ține seama atît de compresiunile din placă, cît și de compresiunile din inimă. Calculul se recomandă să se facă separînd aportul aripilor de cel al inimii.

$$M = M_p + M_g \qquad \text{(VI.71)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.13

Calculul secțiunilor T, I sau casetate. Valorile B_p și α_p.

$\frac{b_p}{b}$	$\frac{h_p}{h_a}$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
1,5	B_p	0,068	0,081	0,094	0,107	0,120	0,133	0,158	0,182	0,206	0,229	0,252	0,274	0,296
	α_p	0,070	0,084	0,098	0,112	0,126	0,140	0,168	0,196	0,224	0,252	0,280	0,308	0,336
2	B_p	0,088	0,105	0,121	0,138	0,155	0,171	0,203	0,234	0,265	0,295	0,324	0,352	0,380
	α_p	0,090	0,108	0,126	0,144	0,162	0,180	0,216	0,252	0,288	0,324	0,360	0,396	0,432
2,5	B_p	0,107	0,128	0,149	0,169	0,189	0,209	0,248	0,286	0,324	0,360	0,396	0,431	0,465
	α_p	0,110	0,132	0,154	0,176	0,198	0,220	0,264	0,308	0,352	0,396	0,440	0,484	0,528
3	B_p	0,127	0,151	0,176	0,200	0,223	0,247	0,293	0,338	0,383	0,426	0,468	0,509	0,549
	α_p	0,130	0,156	0,182	0,208	0,234	0,260	0,312	0,364	0,416	0,468	0,520	0,572	0,624
3,5	B_p	0,146	0,175	0,203	0,230	0,258	0,285	0,338	0,391	0,442	0,491	0,540	0,587	0,634
	α_p	0,150	0,180	0,210	0,240	0,270	0,300	0,360	0,420	0,480	0,540	0,600	0,660	0,720
4	B_p	0,166	0,198	0,230	0,261	0,292	0,323	0,383	0,443	0,500	0,557	0,612	0,666	0,718
	α_p	0,170	0,204	0,238	0,272	0,306	0,340	0,408	0,476	0,544	0,612	0,680	0,748	0,816
5	B_p	0,205	0,244	0,284	0,322	0,361	0,399	0,474	0,547	0,618	0,688	0,756	0,822	0,887
	α_p	0,210	0,252	0,294	0,336	0,378	0,420	0,504	0,588	0,672	0,756	0,840	0,924	1,008

Scanned with OKEN Scanner

6	B_p	0,244	0,291	0,338	0,384	0,430	0,475	0,564	0,651	0,736	0,819	0,900	0,979	1,056
	α_p	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000	1,100	1,200
7	B_p	0,283	0,337	0,392	0,445	0,498	0,551	0,654	0,755	0,854	0,950	1,044	1,136	1,225
	α_p	0,290	0,348	0,406	0,464	0,522	0,580	0,696	0,812	0,928	1,044	1,160	1,276	1,392
8	B_p	0,322	0,384	0,446	0,507	0,567	0,627	0,744	0,859	0,971	1,081	1,188	1,292	1,394
	α_p	0,330	0,396	0,462	0,528	0,594	0,660	0,792	0,924	1,056	1,188	1,320	1,452	1,584
10	B_p	0,400	0,477	0,554	0,630	0,705	0,779	0,925	1,068	1,207	1,343	1,476	1,605	1,732
	α_p	0,410	0,492	0,574	0,656	0,738	0,820	0,984	1,148	1,312	1,476	1,640	1,804	1,968
12	B_p	0,478	0,570	0,662	0,753	0,842	0,931	1,105	1,276	1,442	1,605	1,764	1,919	2,070
	α_p	0,490	0,588	0,686	0,784	0,882	0,980	1,176	1,372	1,568	1,764	1,960	2,156	2,352
14	B_p	0,556	0,663	0,770	0,875	0,980	1,083	1,286	1,484	1,678	1,867	2,052	2,232	2,408
	α_p	0,570	0,684	0,798	0,912	1,026	1,140	1,368	1,596	1,824	2,052	2,280	2,508	2,736
16	B_p	0,634	0,757	0,878	0,998	1,117	1,235	1,166	1,693	1,914	2,129	2,340	2,545	2,746
	α_p	0,650	0,780	0,910	1,040	1,170	1,300	1,560	1,820	2,080	2,340	2,600	2,860	3,120

$$\alpha_p = \left[1 + 0{,}8\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\right] \frac{h_p}{h_0};$$

$$B_p = \left[1 + 0{,}8\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\right] \frac{h_p}{h_0}\left(1 - 0{,}5\,\frac{h_p}{h_0}\right).$$

Scanned with OKEN Scanner

în care M_p este momentul preluat de aripile din zona comprimată a secțiunii și de armătura corespunzătoare A_{ap} din zona întinsă;

M_g — momentul preluat de zona comprimată de beton din inimă și de armătura corespunzătoare A_{ag} din zona întinsă.

$$M_p = 0{,}8\,(b_p - b)\,h_p\,R_i\,(h_0 - 0{,}5\,h_p) \qquad \text{(VI.72)}$$

sau

$$M_p = B_{aT}\,b\,h_0^2\,R_i; \qquad \text{(VI.73)}$$

în care $$B_{aT} = 0{,}8\,\frac{h_p}{h_0}\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\left(1 - 0{,}5\,\frac{h_p}{h_0}\right). \qquad \text{(VI.74)}$$

În tabela VI.14 se dau valorile coeficientului B_{aT} în funcție de rapoartele h_p/h_0 și b_p/b.

Pentru a ușura operația de determinare a valorii B_{aT} se dă în fig. VI.20 graficul de variație a coeficientului B_{aT} în funcție de raportul b_p/b și pentru rapoarte h_p/h_0 cuprinse între 0,05 și 0,40.

Cunoscînd valoarea momentului M_p se poate determina direct secțiunea armăturii A_{ap}

$$A_{ap} = \frac{M_p}{R_a\,(h_0 - 0{,}5h_p)}. \qquad \text{(VI.75)}$$

Secțiunea armăturii A_{ag} se determină pentru valoarea momentului încovoietor M_g ce revine secțiunii dreptunghiulare de lățime b și înălțime h. Valoarea momentului M_g se deduce direct din relația (VI.71). Determinarea secțiunii armăturii se efectuează cu ajutorul formulelor și tabelelor folosite la calculul elementelor încovoiate cu secțiune dreptunghiulară.

Armătura necesară reprezintă suma secțiunilor deduse din calcul

$$A_a = A_{ap} + A_{ag}. \qquad \text{(VI.76)}$$

Ținînd seama de relația (VI.1)

$$M = S_b\,R_i$$

și de condiția (VI.3), care delimitează procentul maxim de armare

$$S_b \leqslant 0{,}8\,S_0$$

în care aria plăcii din zona comprimată se ia în calcul multi-

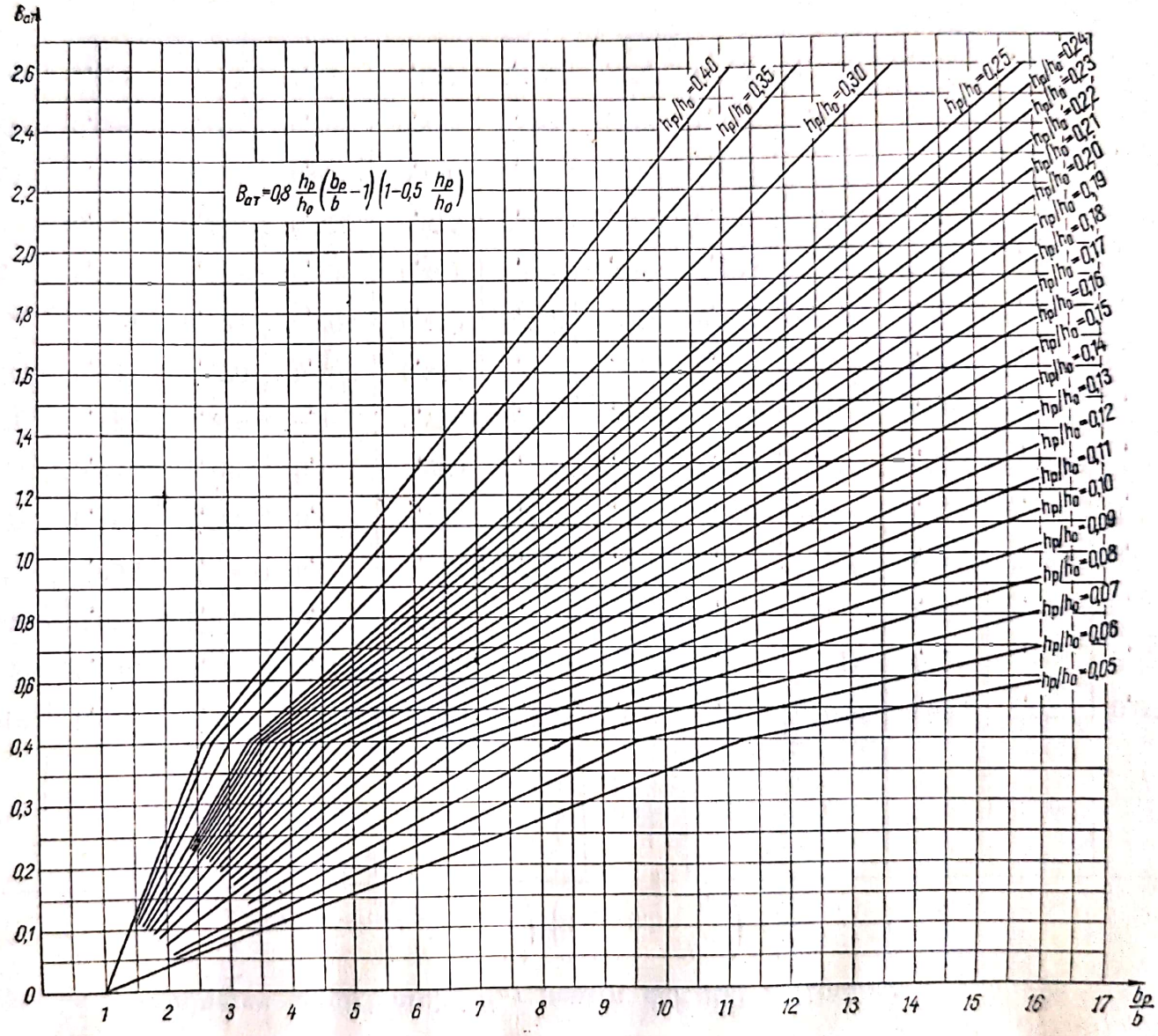
Scanned with OKEN Scanner

Determinarea coeficientului B_{aT} pentru calculul secțiunilor T *Tabela VI.14*

$$B_{aT} = 0{,}8\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\left(1 - 0{,}5\frac{h_p}{h_0}\right)\frac{h_p}{h_0}$$

$\frac{b_p}{b}$ \ $\frac{h_p}{\ }$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
1,5	0,019	0,023	0,027	0,030	0,034	0,038	0,045	0,052	0,059	0,065	0,072	0,078	0,084
2	0,039	0,046	0,054	0,061	0,069	0,076	0,090	0,104	0,118	0,131	0,144	0,157	0,169
2,5	0,058	0,070	0,081	0,092	0,103	0,114	0 135	0,156	0,177	0,196	0,216	0,235	0,253
3	0,078	0,093	0,108	0,122	0,137	0,152	0,180	0,208	0,235	0,262	0,288	0,313	0,338
3,5	0,097	0,116	0,135	0,153	0,172	0,190	0,226	0,260	0,294	0,328	0,360	0,392	0,422
4	0,117	0,139	0,162	0,184	0,206	0,228	0,270	0,312	0,353	0,393	0,432	0,470	0,507
5	0,156	0,186	0,216	0,245	0,275	0,304	0,361	0,417	0,471	0,524	0,576	0,626	0,676
6	0,195	0,232	0,270	0,307	0,344	0,380	0,451	0,521	0,589	0,655	0,720	0,783	0,845
7	0,234	0,279	0,324	0,368	0,412	0,456	0,541	0,625	0,706	0,786	0,864	0,940	1,014
8	0,273	0,325	0,378	0,430	0,481	0,532	0,632	0,729	0,824	0,917	1,008	1,096	1,183
10	0,351	0,419	0,486	0,552	0,619	0,684	0,812	0,937	1,060	1,179	1,296	1,410	1,521
12	0,429	0,512	0,594	0,675	0,756	0,836	0,993	1,146	1,295	1,441	1,584	1,723	1,858
14	0,507	0,605	0,702	0,798	0,894	0,988	1,173	1,354	1,531	1,703	1,872	2,036	2,196
16	0,585	0,698	0,810	0,921	1,031	1,140	1,354	0,562	1,766	1,966	2,160	2,350	2,534

Scanned with OKEN Scanner



B_{aT}
$B_{aT}=0{,}8\,\frac{h_p}{h_0}\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\left(1-0{,}5\,\frac{h_p}{h_0}\right)$
$h_p/h_0=0{,}40$
$h_p/h_0=0{,}35$
$h_p/h_0=0{,}30$
$h_p/h_0=0{,}25$
$h_p/h_0=0{,}24$
$h_p/h_0=0{,}23$
$h_p/h_0=0{,}22$
$h_p/h_0=0{,}21$
$h_p/h_0=0{,}20$
$h_p/h_0=0{,}19$
$h_p/h_0=0{,}18$
$h_p/h_0=0{,}17$
$h_p/h_0=0{,}16$
$h_p/h_0=0{,}15$
$h_p/h_0=0{,}14$
$h_p/h_0=0{,}13$
$h_p/h_0=0{,}12$
$h_p/h_0=0{,}11$
$h_p/h_0=0{,}10$
$h_p/h_0=0{,}09$
$h_p/h_0=0{,}08$
$h_p/h_0=0{,}07$
$h_p/h_0=0{,}06$
$h_p/h_0=0{,}05$
$\frac{b_p}{b}$

Fig. VI.20.

Tabela VI.15.

Determinarea coeficientului B_{Tmax} pentru calculul secțiunilor T

$$B_{T\,max} = 0{,}4 + 0{,}64\frac{h_p}{h_0}\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\left(1 - 0{,}5\frac{h_p}{h_0}\right)$$

$\frac{b_p}{b}$ \ $\frac{h_p}{h_0}$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
1,5	0,416	0,419	0,422	0,424	0,427	0,430	0,436	0,442	0,447	0,452	0,458	0,462	0,467
2	0,431	0,437	0,443	0,449	0,455	0,461	0,472	0,483	0,494	0,505	0,515	0,526	0,535
2,5	0,447	0,456	0,465	0,474	0,482	0,491	0,508	0,525	0,542	0,557	0,573	0,588	0,602
3	0,462	0,474	0,486	0,498	0,510	0,522	0,544	0,566	0,588	0,610	0,630	0,650	0,670
3,5	0,478	0,493	0,508	0,522	0,538	0,552	0,581	0,608	0,635	0,662	0,688	0,714	0,738
4	0,494	0,511	0,530	0,547	0,565	0,582	0,616	0,650	0,682	0,714	0,746	0,776	0,806
5	0,525	0,549	0,573	0,596	0,620	0,643	0,689	0,734	0,777	0,819	0,861	0,901	0,941
6	0,556	0,586	0,616	0,646	0,675	0,704	0,761	0,817	0,871	0,924	0,976	1,026	1,076
7	0,587	0,623	0,659	0,694	0,730	0,765	0,833	0,900	0,965	1,029	1,091	1,152	1,211
8	0,618	0,660	0,702	0,744	0,785	0,826	0,906	0,983	1,059	1,134	1,206	1,277	1,346
10	0,673	0,735	0,789	0,842	0,895	0,947	1,050	1,150	1,248	1,343	1,437	1,528	1,617
12	0,743	0,810	0,875	0,940	1,005	1,069	1,194	1,317	1,436	1,553	1,667	1,778	1,886
14	0,806	0,884	0,962	1,038	1,115	1,190	1,338	1,483	1,625	1,762	1,898	2,029	2,157
16	0,868	0,958	1,048	1,137	1,225	1,312	1,483	1,650	1,813	1,973	2,128	2,320	2,427

Scanned with OKEN Scanner

plicată cu 0,8, se poate deduce valoarea maximă a momentului preluat de secțiunile T, I sau casetate

$$M_{max}=0{,}8\,S_0\,R_i=0{,}8\left[\frac{bh_0^2}{2}+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)\right]R_i \qquad \text{(VI.77)}$$

$$M_{max}=\left[0{,}4+0{,}64\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\left(1-0{,}5\frac{h_p}{h_0}\right)\frac{h_p}{h_0}\right]bh_0^2R_i=B_{Tmax}bh_0^2R_i \qquad \text{(VI.78)}$$

în care

$$B_{Tmax}=0{,}4+0{,}64\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\left(1-0{,}5\frac{h_p}{h_0}\right)\frac{h_p}{h_0}. \qquad \text{(VI.79)}$$

În tabela VI.15 se dau valorile coeficienților B_{Tmax} pentru diverse rapoarte b_p/b și h_p/h_0.

În cazurile în care secțiunile T, I sau casetate sînt dublu armate iar axa neutră cade în placă (fig. VI.21, *a*), calculul se face ca pentru o secțiune dreptunghiulară de lățime:

$$b+0{,}8\,(b_p-b).$$

Axa neutră cade în placă atunci cînd este satisfăcută relația

$$[b+0{,}8\,(b_p-b)]\,h_p\,R_i\geqslant(A_a-A_a')R_a. \qquad \text{(VI.80)}$$

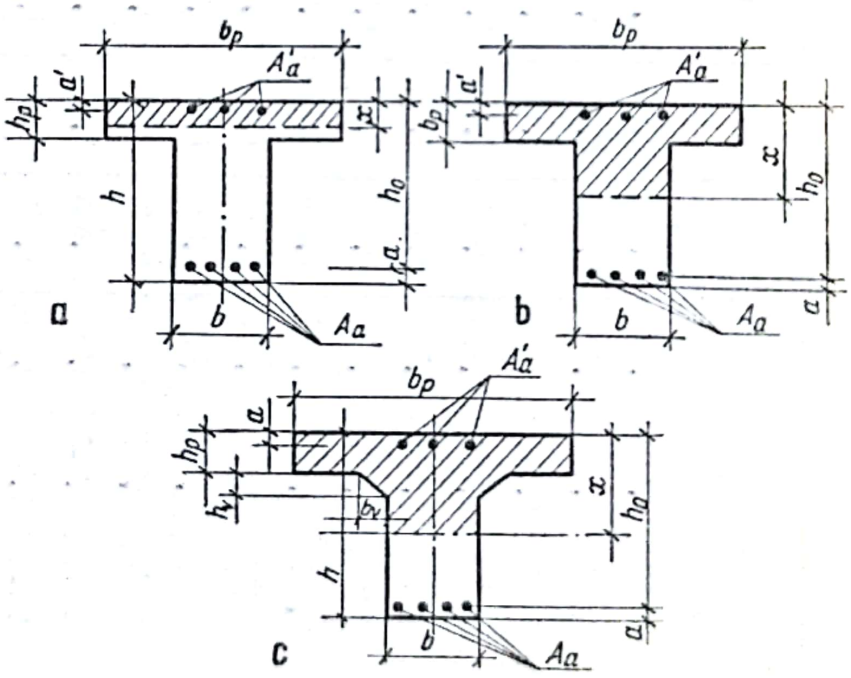


Fig. VI.21.

Pentru ca în armătura A_a' efortul unitar să poată ajunge la curgere se impune să fie satisfăcută condiția (VI.47).

Scanned with OKEN Scanner

În cazul în care axa neutră cade în inimă (fig. VI.21, *b*, *c*), valoarea momentului limită se determină cu relația

$$M=\left[bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)\right]R_i+A'_aR_a\,(h_0-a'). \tag{VI.81}$$

În acest caz poziția axei neutre se determină cu relația

$$x=\frac{(A_a-A'_a)\,R_a-0{,}8\,(b_p-b)\,h_pR_i}{bR_i}. \tag{VI.82}$$

b. *Modul practic de calcul*

La calculul secțiunilor T, I sau casetate pot apare următoarele cazuri:

1) Se dau sau se aleg dimensiunile b, h, h_p, b_p ale secțiunii transversale, marca betonului, tipul armăturii, precum și valoarea momentului încovoietor de calcul.

Se cere să se determine secțiunea necesară a armăturii.

Problema se poate rezolva după cum urmează.

a) Dacă valoarea lui B_1 nu depășește valorile B_p din tabela VI.13 pentru rapoartele efective b_p/b și h_p/h_0, secțiunea se poate calcula ca o secțiune dreptunghiulară de lățime $b'_p=b+0{,}8\,(b_p-b)$. În acest caz se poate determina valoarea B_0

$$B_0=\frac{M}{b'_ph_0^2R_i}=\frac{b}{b'_p}B_1 \tag{VI.83}$$

obținînd apoi din tabela VI.7 valoarea coeficientului ξ sau ζ. Din aceeași tabelă se poate obține direct procentul de armare μ pentru marca dată de beton și pentru tipul respectiv de armătură.

Secțiunea necesară de armătură se determină cu una din relațiile:

$$A_a=\xi\frac{R_i}{R_a}b'_ph_o; \tag{VI.84}$$

$$A_a=\frac{M}{R_a\zeta h_o}; \tag{VI.85}$$

$$A_a=\frac{\mu}{100}b'_ph_0; \tag{VI.86}$$

în care:

$$b'_p=b+0{,}8\,(b_p-b). \tag{VI.87}$$

Pentru a evita interpolarea se poate determina valoarea lui ξ în funcție de valoarea calculată B_0 din tabela VI.9. Pentru calculul armăturii necesare se aplică formula (VI.84).

Calculul se poate de asemenea efectua plecînd de la valoarea lui B

$$B = \frac{M}{b'_p h_0^2} = \frac{b}{b'_p} B_1 R_i. \qquad \text{(VI.88)}$$

Din tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6, în funcție de marca betonului și de tipul armăturii se poate determina procentul de armare μ sau valoarea coeficientului ζ.

Secțiunea necesară a armăturii întinse se determină cu formula (VI.86) sau (VI.85).

b) Dacă $B_1 > B_p$ axa neutră cade în inimă. Calculul secțiunii se face scăzînd din valoarea momentului total M momentul M_p preluat de aripile din zona comprimată și de armătura corespunzătoare A_{ap}

$$M_g = M - M_p \qquad \text{(VI.89)}$$

în care

$$M_p = B_{aT}\, b\, h_0^2\, R_i.$$

Valoarea coeficientului B_{aT} se obține din tabela VI.14 în funcție de rapoartele efective b_p/b și h_p/h_0.

Secțiunea A_{ap} a armăturii se poate determina direct cu relația

$$A_{ap} = 0{,}8\,(b_p - b)\,h_p \frac{R_i}{R_a} \qquad \text{(VI.90)}$$

$$\mu_p = \frac{A_{ap}}{b h_0} = 0{,}8\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\frac{h_p R_i}{h_0 R_a} = \alpha_{aT}\frac{R_i}{R_a}. \qquad \text{(VI.91)}$$

În tabela VI.16 se dă valoarea coeficientului

$$\alpha_{aT} = 0{,}8\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\frac{h_p}{h_0} \qquad \text{(VI.92)}$$

în funcție de diversele valori ale rapoartelor b_p/b și h_p/h_0.

Se calculează apoi armătura necesară A_{ag} pentru secțiunea dreptunghiulară de lățime b și înălțime h, solicitată de momentul încovoietor M_g.

Calculul se face ținînd seama de indicațiile de la pct. A, 2.

Secțiunea totală a armăturii necesare se obține, însumînd secțiunile calculate anterior, cu relația (VI.76)

$$A_a = A_{ap} + A_{ag}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.16

Determinarea coeficientului α_{aT} pentru calculul secțiunilor T

$$\alpha_{aT} = 0{,}8\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\frac{h_p}{h_0}$$

$\frac{b_p}{b}$ \ $\frac{h_p}{h_0}$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
1,5	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,040	0,048	0,056	0,064	0,072	0,080	0,088	0,096
2	0,040	0,048	0,056	0,064	0,072	0,080	0,096	0,112	0,128	0,144	0,160	0,176	0,192
2,5	0,060	0,072	0,084	0,096	0,108	0,120	0,144	0,168	0,192	0,216	0,240	0,264	0,288
3	0,080	0,096	0,112	0,128	0,144	0,160	0,192	0,224	0,256	0,288	0,320	0,352	0,384
3,5	0,100	0,120	0,140	0,160	0,180	0,200	0,240	0,280	0,320	0,360	0,400	0,440	0,480
4	0,120	0,144	0,168	0,192	0,216	0,240	0,288	0,336	0,384	0,432	0,480	0,528	0,576
5	0,160	0,192	0,224	0,256	0,288	0,320	0,384	0,448	0,512	0,576	0,640	0,704	0,768
6	0,200	0,240	0,280	0,320	0,360	0,400	0,480	0,560	0,640	0,720	0,800	0,880	0,960
7	0,240	0,288	0,336	0,384	0,432	0,480	0,576	0,672	0,768	0,864	0,960	1,056	1,152
8	0,280	0,336	0,392	0,448	0,504	0,560	0,672	0,784	0,896	1,008	1,120	1,232	1,344
10	0,360	0,432	0,504	0,576	0,648	0,720	0,864	1,008	1,152	1,296	1,440	1,584	1,728
12	0,440	0,528	0,616	0,704	0,792	0,880	1,056	1,232	1,408	1,584	1,760	1,936	2,112
14	0,520	0,624	0,728	0,832	0,936	1,040	1,248	1,456	1,664	1,872	2,080	2,288	2,496
16	0,600	0,720	0,840	0,960	1,080	1,200	1,440	1,680	1,920	2,160	2,400	2,640	2,880

Scanned with OKEN Scanner

2) Se dau dimensiunile b, h, h_p, b_p ale secțiunii transversale, marca betonului, secțiunea și tipul armăturii.

Se cere să se determine valoarea de calcul a momentului capabil.

Problema se poate rezolva în modul următor.

Se calculează valoarea coeficientului α

$$\alpha = \frac{A_a}{bh_0}\frac{R_a}{R_l}. \qquad \text{(VI.93)}$$

a) Dacă $\alpha \leqslant \alpha_p$ calculul se efectuează ca pentru o secțiune dreptunghiulară de lățime b_p.

Se determină procentul de armare

$$\mu\,\% = \frac{A_a}{b'_p h_0}100. \qquad \text{(VI.94)}$$

Din tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6 se determină, pentru marca dată de beton și pentru tipul respectiv de armătură, valoarea B sau valoarea ζ corespunzătoare valorii μ calculate.

Valoarea momentului capabil se determină cu relația

$$M = B\,b'_p h_0^2 \qquad \text{(VI.95)}$$

sau

$$M = A_a\,R_a\,\zeta\,h_0. \qquad \text{(VI.96)}$$

Se poate de asemenea determina valoarea lui ξ din relația

$$\xi = \frac{A_a}{b'_p h_0}\frac{R_a}{R_l} = \alpha\frac{b}{b'_p}. \qquad \text{(VI.97)}$$

Din tabela VI.7 se determină în funcție de ξ valorile coeficienților B_0 sau ζ. Pentru a evita interpolarea, valoarea lui B_0 se poate determina din tabela VI.8.

Valoarea de calcul a momentului capabil se poate determina cu relația

$$M = B_0\,b'_p h_0^2 R_l \qquad \text{(VI.98)}$$

sau cu relația (VI.96)

$$M = A_a\,R_a\,\zeta\,h_0.$$

b) Dacă $\alpha > \alpha_p$ axa neutră cade în inimă.

Valoarea M_p a momentului preluat de aripile din zona comprimată și de armătura corespunzătoare A_{ap} din zona întinsă se determină cu relația (VI.73), iar secțiunea A_{ap} a armăturii se determină cu relația (VI.90).

Scanned with OKEN Scanner

Valoarea M_g a momentului preluat de secțiunea dreptunghiulară de lățime b și înălțime h se poate determina plecînd de la secțiunea A_{ag} a armăturii aferente

$$A_{ag}=A_a—A_{ap}. \tag{VI.99}$$

Valoarea de calcul a momentului capabil se determină însumînd cele două momente (VI.71)

$$M=M_p+M_g.$$

Calculul se mai poate face determinînd coeficientul α_g din relația

$$\alpha_g=\alpha—\alpha_{aT}. \tag{VI.100}$$

Din tabela VI.7 se determină valoarea coeficientului B_0, corespunzătoare valorii calculate $\xi=\alpha_g$. Pentru a evita interpolarea, valoarea lui B_0 se poate determina din tabela VI.8.

Valoarea de calcul a momentului capabil se poate determina cu relația

$$M=(B_0+B_{aT})b\,h_0^2\,R_i \tag{VI.101}$$

unde B_0+B_{aT} nu trebuie să depășească valoarea B_{Tmax} indicată în tabela VI.15.

De asemenea se poate efectua calculul plecînd de la relația

$$\mu\%=(\alpha-\alpha_{aT})\frac{R_i}{R_a}\,100. \tag{VI.102}$$

Din tabelele VI.3, VI.4, VI.5 sau VI.6 rezultă valoarea B în funcție de procentul de armare calculat. Valoarea de calcul a momentului capabil se poate determina cu relația

$$M=(B+B_{aT}\,R_i)b\,h_0^2 \tag{VI.103}$$

În același timp trebuie să se verifice dacă este satisfăcută relația

$$\frac{B}{R_i}+B_{aT}\leqslant B_{T\,max} \tag{VI.104}$$

Valoarea lui $B_{T\,max}$ se obține din tabela VI.15 în funcție de rapoartele b_p/b și h_p/h_0.

În cazul secțiunilor dublu armate calculul se face pe baza relațiilor generale (VI.80), (VI.81) și (VI.82).

Rezolvarea problemelor practice se face în mod asemănător, ținîndu-se însă seama și de indicațiile de la pct. A, 3.

Scanned with OKEN Scanner

În problemele de dimensionare, atunci cînd trebuie să se determine și înălțimea h a secțiunii, se va ține seama și de indicațiile de la pct. A, 2.

c. *Exemple de calcul*

Exemplul VI.12. Să se determine secțiunea necesară a armăturii întinse pentru grinda în T din fig. VI.22, cunoscînd: $b=15$ cm, $b_p=60$ cm, $h=35$ cm, $h_p=6$ cm; marca betonului B 300 cu $R_i=160$ kgf/cm^2; tipul armăturii TOR 47 cu $R_a=2\,800$ kgf/cm^2; momentul de calcul $M=5{,}5$ tfm.

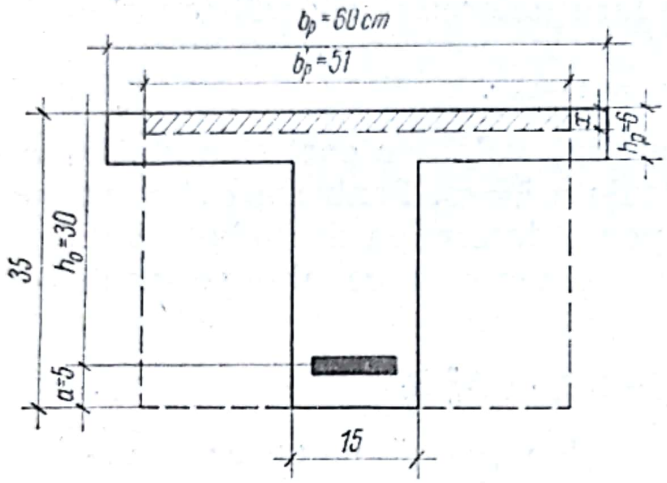


Fig. VI.22.

Se consideră $h_0=h-a=30$ cm

$$\frac{b_p}{b}=\frac{60}{15}=4\ ;$$

$$\frac{h_p}{h_0}=\frac{6}{30}=0{,}2\cdot$$

Din tabela VI.13 se obține pentru aceste rapoarte

$$B_p=0{,}612;\ \alpha_p=0{,}680.$$

$$B_1=\frac{M}{bh_0^2R_i}=\frac{550\,000}{15\times30^2\times160}=0{,}255<B_p\cdot$$

Deci axa neutră trebuie să cadă în placă

$$b'_p=b+0{,}8(b_p-b)=15+0{,}8(60-15)=51\ \text{cm}$$

$$B_0=\frac{M}{b'_ph_0^2R_i}=\frac{b}{b'_p}B_1=\frac{15}{51}0{,}255=0{,}075$$

Din tabela VI.9 se obține $\xi=0{,}078$;

deci $A_a=\xi\frac{R_i}{R_a}b'_ph_0=0{,}078\,\frac{160}{2800}\,51\times30=6{,}82$ cm^2.

Dacă se folosea tabela VI.7 se obținea $\zeta=0{,}961$, ajungînd la o aceeași valoare a secțiunii de armătură necesare.

$$A_a=\frac{M}{R_a\zeta h_0}=\frac{550\,000}{2\,800\times0{,}961\times30}=6{,}82\ \text{cm}^2$$

Se aleg 6 bare ∅ 12 mm ($A_a=6{,}79$ cm^2).

Scanned with OKEN Scanner

Din tabela VI.11 se vede că armătura trebuie așezată pe două rînduri, cîte trei bare pe fiecare rînd. Din tabela VI.10 se vede că pentru acest caz $a_{min}=4{,}45$ cm.

Deci $h_0=h-a_{min}=35-4{,}45=30{,}55$ cm.

Plecînd de la datele reale se verifică secțiunea

$$\mu\%=\frac{6{,}79}{51\times 30{,}55}\,100=0{,}437\%.$$

Din tabela VI.4 se obține pentru B 300 $\zeta=0{,}962$ deci $M=A_a R_a \zeta h_0=6{,}79\times 2\,800\times 0{,}962\times 30{,}55=558\,000$ kgfcm$>5{,}5$ tfm.

Exemplul VI.13. Să se determine armătura necesară în deschiderea grinzii secundare a unui planșeu de beton armat, cunoscînd: $h_p=6$ cm, $h=40$ cm; deschiderea de calcul a nervurii 5,40 m; distanța dintre axele nervurilor 2,20 m; valoarea maximă a momentului de calcul $M=9{,}5$ tfm; marca betonului B 200 cu $R_i=100$ kgf/cm^2; tipul armăturii OL 38 cu $R_a=2\,100$ kgf/cm^2.

Se alege lățimea grinzii de 20 cm și lumina dintre nervuri rezultă egală cu 2,00 m.

Deoarece 1/6 din deschiderea nervurii reprezintă o lungime mai mică decît 1/2 din lumina dintre nervuri, rezultă

$$b_p=20+2\,\frac{540}{6}=20+2\times 90=200\text{ cm}.$$

Se consideră $a=3$ cm și $h_0=h-a=40-3=37$ cm

$$\frac{b_p}{b}=\frac{200}{20}=10;\ \frac{h_p}{h_0}=\frac{6}{37}=0{,}162\approx 0{,}16.$$

Din tabela VI.13 se obțin pentru aceste rapoarte

$$B_p=1{,}207;\ \alpha_p=1{,}312.$$

$$B_1=\frac{M}{bh_0^2R_i}=\frac{950\,000}{20\times 37^2\times 100}=0{,}347<B_p.$$

Axa neutră trebuie să cadă în placă. Calculul se va efectua ca pentru o secțiune dreptunghiulară cu lățimea b'_p

$$b'_p=b+0{,}8(b_p-b)=20+0{,}8(200-20)$$
$$=20+144=164\text{ cm}.$$

$$B_0=\frac{M}{b'_p h_0^2 R_i}=\frac{b}{b'_p}B_1=\frac{20}{164}\,0{,}347=0{,}0423.$$

Scanned with OKEN Scanner

Din tabela VI.7 se obține prin interpolare $\zeta=0{,}978$ deci

$$A_a=\frac{950\,000}{2\,100\times 0{,}978\times 37}=12{,}5\ \text{cm}^2.$$

La același rezultat se ajunge folosind datele din tabela VI.3

$$B=\frac{M}{b_p'h_0^2}=\frac{950\,000}{164\times 37^2}=4{,}24.$$

Din tabela VI.3 se obține prin interpolare $\mu=0{,}206\%$, deci

$$A_a=\frac{\mu}{100}b_p'h_0=\frac{0{,}206}{100}\,164\times 37=12{,}5\ \text{cm}^2.$$

Se aleg ca armătura 4 ∅ 20 mm ($A_a=12{,}56$ cm^2).

Din tabela VI.11 rezultă că barele pot fi așezate pe un singur rînd și din tabela VI.10, $a_{min}=3$ cm.

Exemplul VI.14. Să se determine armătura necesară la o grindă independentă de beton armat cu placă în consolă, cunoscînd $b=15$ cm, $h=30$ cm, $h_p=5$ cm; lățimea tălpii superioare 1 m; momentul de calcul $M=9{,}5$ tfm; marca betonului B 250 cu $R_i=120$ kgf/cm^2; tipul armăturii PC 52 cu $R_a=2\,900$ kgf/cm^2.

La grinzile independente cu placa în consolă, dacă $h_p\geqslant 0{,}1\,h$, lățimea de calcul a plăcii se ia

$$b_p=b+12\ h_p=15+12\times 5=75\ \text{cm};$$

$$b_p'=b+0{,}8(b_p-b)=15+0{,}8(75-15)=63\ \text{cm}.$$

Considerînd $a=5$ cm, obținem

$$h_0=h-a=30-5=25\ \text{cm}$$

$$\frac{h_p}{h_0}=\frac{5}{25}=0{,}2;\qquad \frac{b_p}{b}=\frac{75}{15}=5.$$

Din tabela VI.13 se obține pentru $b_p/b=5$ și $h_p/h_0=0{,}2$

$$B_p=0{,}756;\ \alpha_p=0{,}840.$$

$$B_1=\frac{M}{bh_0^2R_i}=\frac{950\,000}{15\times 25^2\times 120}=0{,}845>B_p.$$

Este necesar ca axa neutră să cadă în inimă.

Din tabela VI.14 se deduce valoarea $B_{aT}=0{,}576$ pentru $h_p/h_0=0{,}2$ și $b_p/b=5$. Valoarea B_{aT} se poate determina și din graficul prezentat în fig. VI.20.

Scanned with OKEN Scanner

Momentul preluat de aripile grinzii se poate determina cu ajutorul relației (VI.73)

$$M_p = B_{aT}\, b\, h_0^2\, R_i = 0{,}576 \times 15 \times 25^2 \times 120 = 647\,000 \text{ kgfcm}.$$

Valoarea momentului încovoietor preluat de inima grinzii va fi:

$$M_g = M - M_p = 950\,000 - 647\,000 = 303\,000 \text{ kgfcm}.$$

Se calculează armătura A_{ag} pentru preluarea momentului încovoietor M_g

$$B = \frac{M_g}{bh_0^2} = \frac{303\,000}{15 \times 25^2} = 32{,}3 \text{ kgf/cm}^2.$$

Din tabela VI.5 se obține prin interpolare $\mu = 1{,}33\%$

$$A_{ag} = \frac{\mu}{100}\, bh_0 = \frac{1{,}33}{100}\, 15 \times 25 = 4{,}98 \text{ cm}^2.$$

Cu ajutorul relațiilor (VI.90) sau (VI.91) se poate determina secțiunea necesară a armăturii A_{ap}

$$A_{ap} = 0{,}8(b_p - b)h_p \frac{R_t}{R_a} = 0{,}8 \times 60 \times 5 \frac{120}{2\,900} = 9{,}94 \text{ cm}^2$$

sau

$$A_{ap} = \alpha_{aT} \frac{R_t}{R_a}\, b\, h_0 = 0{,}640 \frac{120}{2\,900} 15 \times 25 = 9{,}94 \text{ cm}^2.$$

Din tabela VI.16 s-a luat valoarea $\alpha_{aT} = 0{,}640$.

În acest caz secțiunea totală necesară a armăturii va fi:

$$A_a = A_{ap} + A_{ag} = 9{,}94 + 4{,}98 = 14{,}92 \text{ cm}^2.$$

Se alege o armătură formată din 6 bare $\varnothing$ 18 mm ($A_a = 15{,}27$ cm^2).

Din tabela VI.11 se vede că armătura trebuie dispusă pe două rînduri, cîte trei bare pe un rînd și din tabela VI.10 rezultă $a_{min} = 5{,}05$ cm.

Pentru verificarea secțiunii se calculează coeficientul

$$\alpha = \frac{A_a' R_a}{bh_0 R_t} = \frac{15{,}27}{15 \times 24{,}95} \cdot \frac{2\,900}{120} = 0{,}987$$

$$\alpha_g = \alpha - \alpha_{aT} = 0{,}987 - 0{,}640 = 0{,}347.$$

Din tabela VI.8 pentru $\xi = \alpha_g = 0{,}347$ se obține $B_0 = 0{,}2863$ de unde $B_0 + B_{aT} = 0{,}2863 + 0{,}576 = 0{,}8623$.

Din tabela VI.15 se vede că pentru $b_p/b = 5$ și $h_p/h_0 = 0{,}2$, $B_{T\,max} = 0{,}861$, iar suma $B_0 + B_{aT}$ depășește cu foarte puțin valoarea $B_{T\,max}$.

Scanned with OKEN Scanner

Valoarea momentului capabil nu se va mai determina în acest caz cu relația (VI.101)

$$M = B_{r\,max}\, b\, h_0^2 R_i = 0{,}861 \times 15 \times 24{,}95^2 \times 120 = 965\,000 \text{ kgfcm} > 9{,}5 \text{ tfm}.$$

În fig. VI.23 se arată alcătuirea secțiunii transversale.

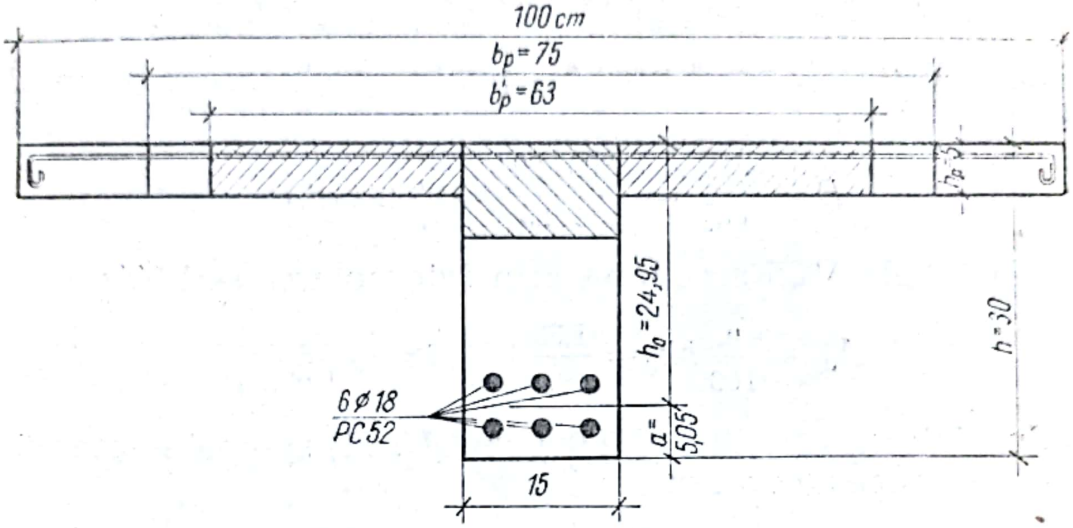


Fig. VI.23.

Exemplul VI.15. Să se determine secțiunea necesară a armăturii din zona întinsă pentru grinda cu secțiunea transversală prezentată în fig. VI.24, cunoscînd $h = 40$ cm, $h_{p\,med} =$

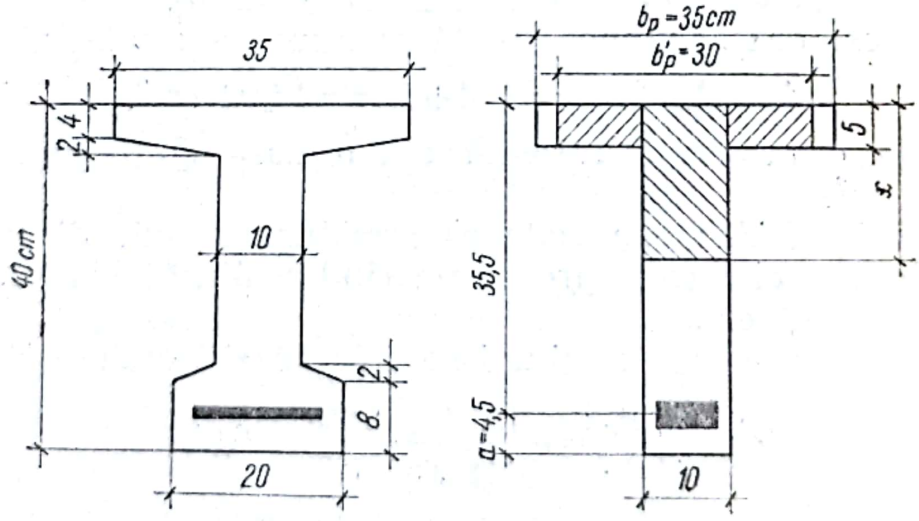


Fig. VI.24.

$= 5$ cm, $b_p = 35$ cm, $b_g = 10$ cm; marca betonului B 300 cu $R_i = 160$ kgf/cm^2; tipul armăturii PC 60 cu $R_a = 3\,400$ kgf/cm^2; momentul de calcul $M = 10$ tfm.

Scanned with OKEN Scanner

Se consideră $a=4,5$ cm; $h_0=h-a=35,5$ cm. Lățimea b se ia egală cu grosimea inimii.

$$b=b_g=10 \text{ cm.}$$

$$b'_p=b+0,8(b_p-b)=10+0,8(35-10)=10+20=30 \text{ cm}$$

$$\frac{h_p}{h_0}=\frac{5}{35,5}=0,141\approx 0,14\,;\frac{b_p}{b}=\frac{35}{10}=3,5\,.$$

Din tabela VI.13 se obține

$$B_p=0,391;\ \alpha_p=0,420$$

$$B_1=\frac{M}{bh_0^2R_i}=\frac{1\,000\,000}{10\times 35,5^2\times 160}=0,495>B_p.$$

Axa neutră cade în inimă.

Din tabela VI.14 se obține $B_{aT}=0,260$ iar din tabela VI.16 rezultă $\alpha_{aT}=0,280$.

deci $M_p=B_{aT}\,b\,h_0^2\,R_i=0,260\times 10\times 35,5^2\times 160=525\,000$ kgfcm;

$$A_{ap}=\alpha_{aT}\frac{R_i}{R_a}\,b\,h_0=0,280\,\frac{160}{3\,400}\,10\times 35,5=4,68 \text{ cm}^2.$$

Inima grinzii trebuie să preia momentul $M_g=M-M_p=$ $=475\,000$ kgfcm

$$B=\frac{M_g}{bh_0^2}=\frac{475\,000}{10\times 35,5^2}=37,7 \text{ kgf/cm}^2.$$

Din tabela VI.6 se obține prin interpolare $\mu=1,284\%$ de unde

$$A_{ag}=\frac{1,284}{100}\times 10\times 35,5=4,56 \text{ cm}^2;$$

$$A_a=A_{ap}+A_{ag}=4,68+4,56=9,24 \text{ cm}^2.$$

Se alege o armătură formată din 4 ∅ 10 mm și 4∅ 14 mm

$$A_a=3,14+6,16=9,30 \text{ cm}^2$$

care se dispune ca în fig. VI.25.

Pentru verificarea secțiunii se calculează coeficienții α și α_g.

$$\alpha=\frac{A_a}{bh_0}\frac{R_a}{R_i}=\frac{9,30}{10\times 35,5}\frac{3\,400}{160}=0,557$$

$$\alpha_g=\alpha-\alpha_{aT}=0,557-0,280=0,277.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru $\xi=\alpha_g=0{,}277$ se obține din tabela VI.8 valoarea $B_0=$ $=0{,}2386$ și

$$B_0+B_{aT}=0{,}2386+0{,}260=0{,}4986<B_{T\,max}=0{,}608.$$

Valoarea lui $B_{T\,max}$ s-a luat din tabela VI.15.

$$M=(B_0+B_{aT})b\,h_0^2\,R_i=0{,}4986\times10\times35{,}5^2\times160=$$

$$=1\,005\,000\ \text{kgfcm}\approx10\ \text{tfm}.$$

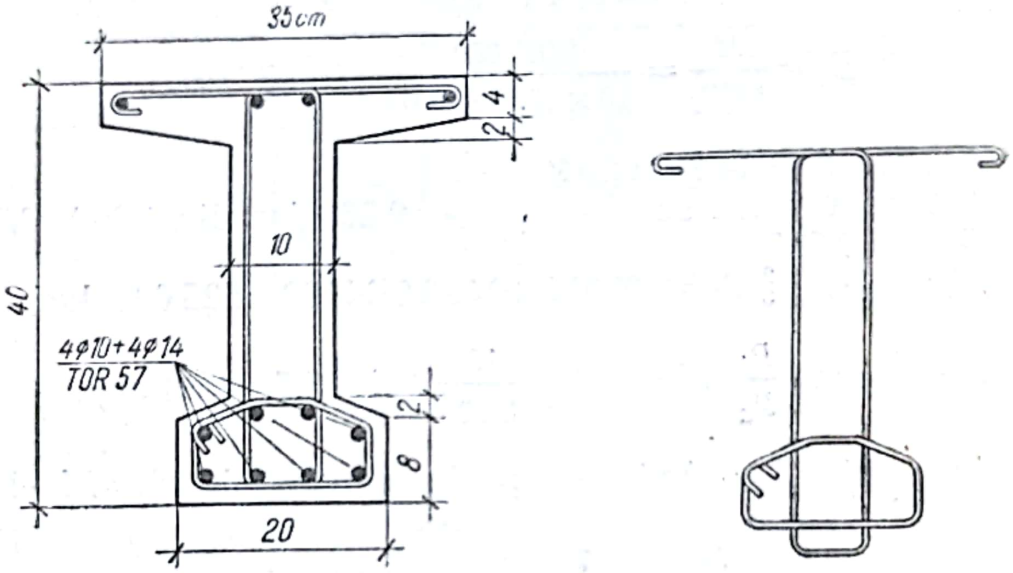


Fig. VI.25.

Exemplul VI.16. Se cere să se determine momentul capabil pentru grinda din fig. VI.26, cunoscînd că armarea se face cu 10 bare ∅22 mm din OL 38. $A_a=38{,}01\ \text{cm}^2$ cu $R_a=2\,100\ \text{kgf/cm}^2$; marca betonului B 200 cu $R_i=100\ \text{kgf/cm}^2$.

Dimensiunile geometrice rezultă din figură.

$$h_p=8\ \text{cm}<0{,}1\ h$$

deci $b_{p\,max}=b+6\,h_p=12+6\times8=60\ \text{cm}$

$$b=12\ \text{cm};\quad b_p=60\ \text{cm}.$$

Din tabela VI.11 se vede că armătura trebuie așezată pe două rînduri. Din tabela VI.10 rezultă că $a=5{,}95$ cm,

deci $h_0=h-a=120-5{,}95=114{,}05\ \text{cm}\approx114\ \text{cm}$.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru rapoartele: $\frac{b_p}{b}=\frac{60}{12}=5$ și $\frac{h_p}{h_0}=\frac{8}{114}=0{,}07$

se obține din tabela VI.13 $\alpha_p=0{,}294$.

$$\alpha=\frac{A_a}{bh_0}\frac{R_a}{R_i}=\frac{38{,}01}{12\times 114}\frac{2\,100}{100}=0{,}583>\alpha_p$$

Deci axa neutră cade în inimă.

Din tabela VI.16 se obține $\alpha_{aT}=0{,}224$ și din tabela VI.14 sau din graficul prezentat în fig. VI.20 rezultă: $B_{aT}=0{,}216$.

Momentul preluat de aripile profilului se determină cu ajutorul relației (VI.73)

$$M_p=B_{aT}\,b\,h_0^2R_i.$$

Pentru a determina valoarea momentului preluat de inimă și de secțiunea corespunzătoare din armătura întinsă se calculează mai întîi valoarea coeficientului α_g

$$\alpha_g=\alpha-\alpha_{aT}=$$
$$=0{,}583-0{,}224=0{,}359.$$

Pentru $\xi=\alpha_g=0{,}359$ se determină direct din tabela VI.8 valoarea coeficientului $B_0=0{,}2946$

$$B_0+B_{aT}=0{,}2946+0{,}216=$$
$$=0{,}5106<B_{T\,max}=0{,}573$$

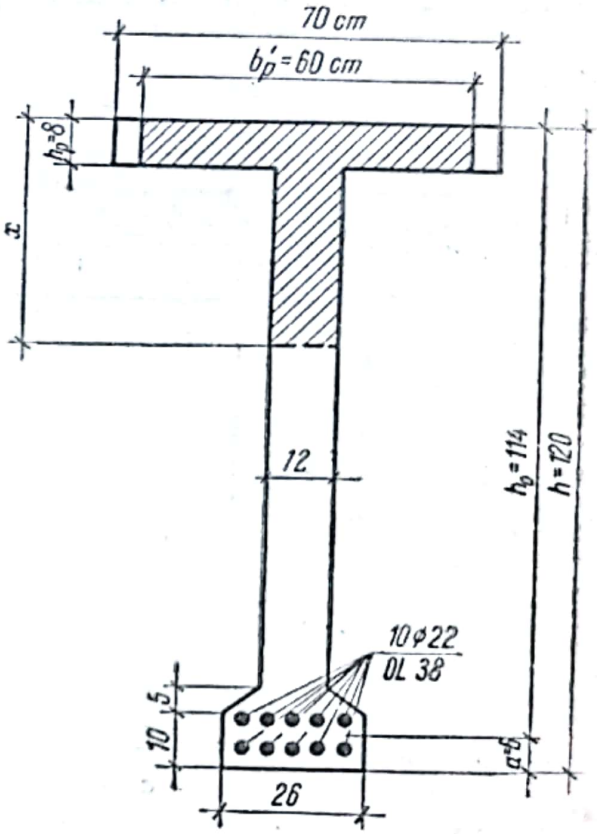


Fig. VI.26.

Valoarea lui $B_{T\,max}$ s-a luat din tabela VI.15.

Momentul capabil se determină cu relația (VI.101)

$$M=(B_0+B_{aT})b\,h_0^2\,R_i=0{,}5106\times 12\times 114^2\times 100=$$
$$=7\,950\,000\ \text{kgfcm}=79{,}5\ \text{tfm}.$$

Exemplul VI.17. Să se determine momentul capabil pentru o grindă prefabricată de beton armat cunoscînd: $b=12$ cm, $b_p=35$ cm, $h=30$ cm, $h_{p\,med}=5$ cm; armătura este formată din 2 bare ∅ 22 mm, de marcă PC 60, $A_a=7{,}60$ cm² și $R_a=3\,400$ kgf/cm²; marca betonului B 250 cu $R_i=120$ kgf/cm².

Scanned with OKEN Scanner

În fig. VI.27 se arată secțiunea transversală a grinzii.

$$a=3{,}6 \text{ cm}; \qquad h_0=h-a=26{,}4 \text{ cm}.$$

$$\alpha=\frac{7{,}60}{12\times 26{,}4}\,\frac{3\,400}{120}=0{,}680>\alpha_p.$$

Valoarea lui α_p se deduce din tabela VI.13 pentru rapoartele $b_p/b=\frac{35}{12}=2{,}92$ și $h_p/h_0=\frac{5}{26{,}4}=0{,}19$.

Axa neutră cade deci în inima grinzii.

Valoarea M_p a momentului preluat de aripile grinzii și de armătura corespunzătoare A_{ap} se determină cu relația (VI.73).

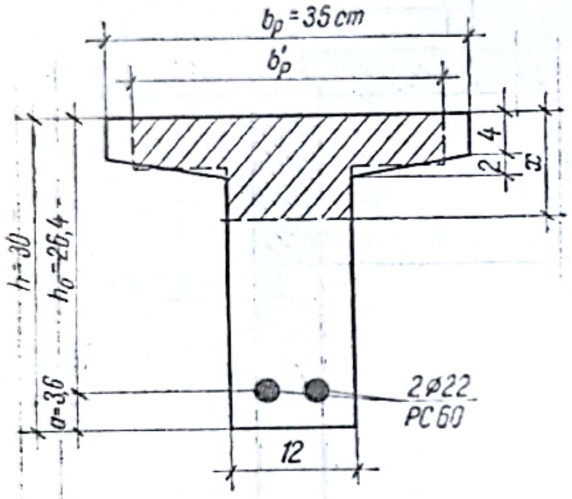


Fig. VI.27.

Folosind graficul din fig. VI.20 determinăm pentru $b_p/b=2{,}92$ și pentru $h_p/h_0=0{,}19$ valoarea coeficientului $B_{aT}=0{,}263$

$$M_p=B_{aT}\,b\,h_0^2\,R_i=$$
$$=0{,}263\times 12\times 26{,}4^2\times 120=$$
$$=263\,000 \text{ kgfcm}.$$

Cu ajutorul relației (VI.90) se poate determina direct secțiunea A_{ap} a armăturii corespunzătoare betonului comprimat din aripi

$$A_{ap}=0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\,\frac{R_i}{R_a}=0{,}8\,(35-12)\,5\,\frac{120}{3\,400}=3{,}25 \text{ cm}^2.$$

Problema revine acum de a găsi valoarea momentului capabil M_g pentru secțiunea dreptunghiulară de lățime $b=12$ cm și de înălțime $h=30$ cm, cu secțiunea de armătură $A_{ag}=A_a-A_{ap}=7{,}60-3{,}25=4{,}35$ cm^2. După cum s-a arătat la pct. A,2, problema se poate rezolva pe mai multe căi. Se calculează de exemplu procentul de armare

$$\mu\%=\frac{A_{ag}}{bh_0}\,100=\frac{4{,}35}{12\times 26{,}4}\,100=1{,}375.$$

Din tabela VI.6 se obține prin interpolare $\zeta=0{,}8055$, $M_g=A_{ag}\,R_a\,\zeta\,h_0=4{,}35\times 3\,400\times 0{,}8055\times 26{,}4=314\,000$ kgfcm.

$$M=M_p+M_g=2{,}63+3{,}14=5{,}77 \text{ tfm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Din tabela VI.15 se obține $B_{r\,max} \approx 0{,}600$ și

$$M_{max} = B_{r\,max}\, b\, h_0^2\, R_i = 0{,}6 \times 12 \times 26{,}4^2 \times 120 = 600\,000 \text{ kgfcm} > M.$$

Deci valoarea de calcul a momentului capabil este $M = 5{,}77$ tfm.

Exemplul VI.18. Să se determine momentul capabil al nervurii unui planșeu de beton armat, cunoscînd: deschiderea de

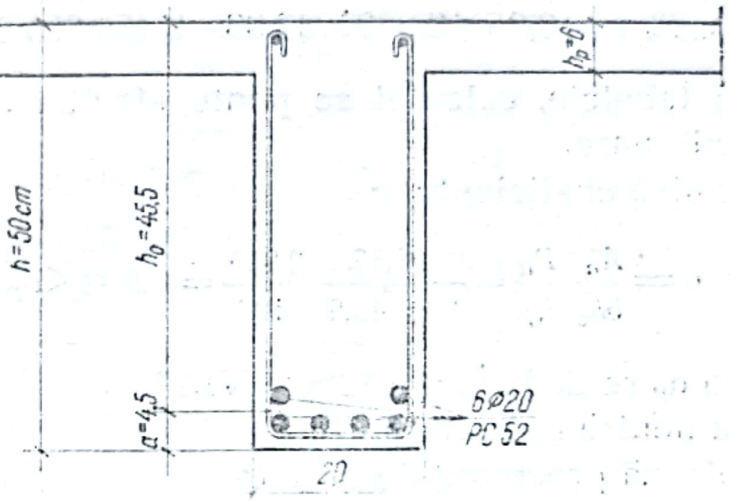


Fig. VI.28.

calcul a nervurii 6 m; distanța dintre axele nervurilor 2,5 m; grosimea plăcii $h_p = 6$ cm; lățimea nervurii $b = 20$ cm; înălțimea nervurii $h = 50$ cm. Marca betonului B 200.

Nervura este armată cu 6 bare ∅ 20 mm PC 52, $A_a = 18{,}85$ cm² și $R_a = 2\,900$ kgf/cm².

Armătura se așază pe două rînduri, după cum se arată în fig. VI.28.

$$a = 4{,}5 \text{ cm}; \quad h_0 = h - a = 45{,}5 \text{ cm}.$$

Lumina dintre nervuri rezultă egală cu 2,30 m.

Deoarece $\frac{600}{6} < \frac{230}{2}$ lățimea de calcul a plăcii b_p va fi:

$$b_p = 20 + 2\,\frac{600}{6} = 220 \text{ cm}.$$

Considerînd că axa neutră cade în placă, secțiunea T se poate înlocui cu o secțiune dreptunghiulară de lățime b'_p

$$b'_p = b + 0{,}8\,(b_p - b) = 20 + 0{,}8\,(220 - 20) = 180 \text{ cm}.$$

Valoarea momentului capabil se poate determina ușor și fără a folosi tabelele

$$x=\frac{A_a R_a}{b'_p R_i}=\frac{18{,}85\times 2\,900}{180\times 100}=3{,}04\ \text{cm}<h_p=6\ \text{cm}$$

$$z=h_0-\frac{x}{2}=45{,}5-1{,}52=43{,}98\ \text{cm}$$

$$M=A_a R_a z=18{,}85\times 2\,900\times 43{,}98=2\,400\,000\ \text{kgfcm}.$$

Folosind tabelele, calculul se poate efectua după cum se arată în continuare.

Se determină coeficientul α

$$\alpha=\frac{A_a}{bh_0}\frac{R_a}{R_i}=\frac{18{,}85}{20\times 45{,}5}\frac{2\,900}{100}=0{,}602<\alpha_p$$

Valoarea α_p se deduce din tabela VI.13.

Deci axa neutră cade în placă.

Se calculează procentul de armare

$$\mu\%=\frac{A_a}{b'_p h_0}100=\frac{18{,}85}{180\times 45{,}5}100=0{,}23.$$

Din tabela VI.5 se obține prin interpolare valoarea ζ sau B.

$$\zeta=0{,}967;\qquad B=6{,}45.$$

Valoarea momentului capabil se determină cu relațiile (VI.95) sau (VI.96)

$$M=B\,b'_p\,h_0^2=6{,}45\times 180\times 45{,}5^2=2\,400\,000\ \text{kgfcm};$$

$$M=A_a R_a \zeta h_0=18{,}85\times 2\,900\times 0{,}967\times 45{,}5=2\,400\,000\ \text{kgfcm}.$$

Valoarea momentului capabil a rezultat deci, după cum era și normal, aceeași prin toate metodele de calcul, $M=24$ tfm.

Exemplul VI.19. Să se determine valoarea de calcul a momentului capabil pentru grinda cu secțiunea I avînd dimensiunile din fig. VI.29, cunoscînd: marca betonului B 300 cu $R_i=160$ kgf/cm^2; tipul armăturii PC 52 cu $R_a=2\,900$ kgf/cm^2; armătura din zona întinsă are 8 bare $\varnothing$ 18 mm, $A_a=20{,}36$ cm^2

Scanned with OKEN Scanner

și $a=5$ cm; armătura din zona comprimată are 4 bare ∅14 mm; $A'_a=6{,}16$ cm² și $a'=2{,}7$ cm;

$$h_0=h-a=45 \text{ cm}.$$

Pentru calculul secțiunii se vor folosi relațiile (VI.80), (VI.81) și (VI.82)

$$(A_a-A'_a)\,R_a=$$
$$=(20{,}36-6{,}16)\,2\,900=$$
$$=41\,200 \text{ kgf}$$
$$[b+0{,}8(b_p-b)]\,h_p\,R_i=$$
$$=[10+0{,}8(30-10)]\,8\times$$
$$\times 160=26\times 8\times 160=$$
$$=33\,300 \text{ kgf}.$$

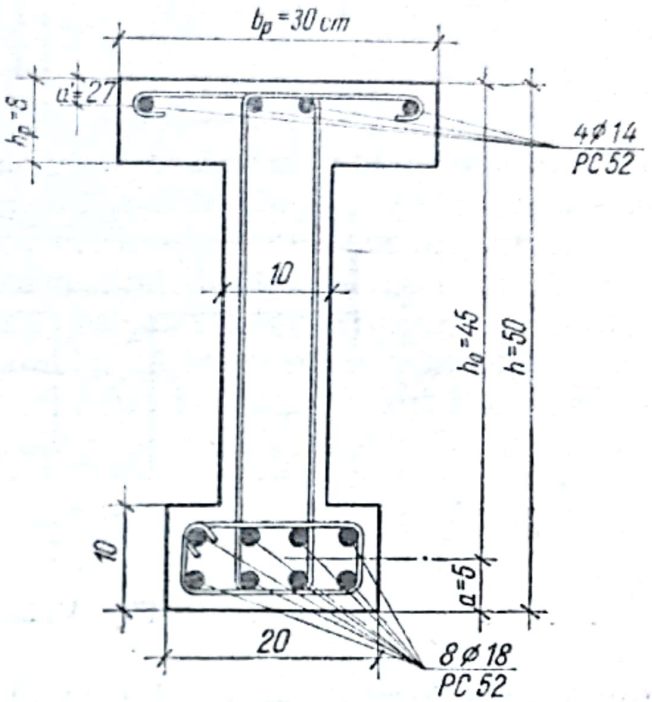


Fig. VI.29.

Deoarece

$$[b+0{,}8(b_p-b)]\,h_p\,R_i<$$
$$<(A_a-A'_a)\,R_a$$

rezultă că axa neutră cade în inimă.

Poziția axei neutre se va determina cu relația (VI.82)

$$x=\frac{(A_a-A'_a)R_a-0{,}8(b_p-b)h_pR_i}{bR_i}=$$

$$=\frac{(20{,}36-6{,}16)2900-0{,}8(30-10)8\times 160}{10\times 160}=\frac{41\,200-20\,500}{1\,600}=12{,}94 \text{ cm}.$$

Valoarea momentului capabil se determină cu relația (VI.81)

$$M=\left[bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+0{,}8(b_p-b)h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)\right]Ri+A'_aR_a(h_0-a')=$$

$$=[10\times 12{,}94(45-6{,}47)+0{,}8(30-10)8(45-4)]\,160+6{,}16\times$$

$$\times 2\,900(45-2{,}7)=1\,640\,000+757\,000=2\,397\,000 \text{ kgfcm}=$$

$$=23{,}97 \text{ tfm}.$$

Exemplul VI.20. Să se determine valoarea momentului capabil pentru fișia de planșeu din fig. VI.30, *a*, cunoscînd: marca betonului B 250 cu $R_t=120$ kgf/cm²; armătura de rezis-

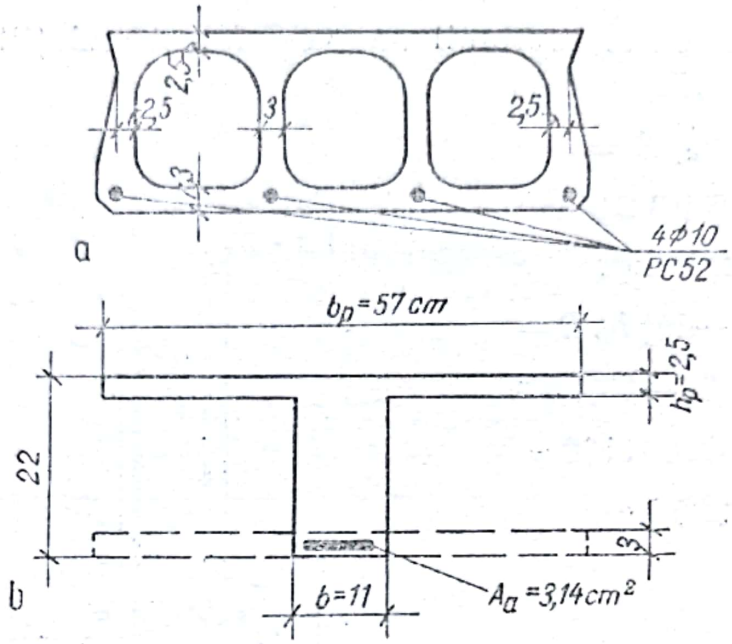


Fig. VI.30.

tență este formată din 4 bare ∅ 10 mm PC 52, $A_a=3,14$ cm² și $R_a=2\,900$ kgf/cm².

Secțiunea casetată din fig. VI.30, *a*, se poate reduce în mod aproximativ, pentru calcul, la o secțiune I de forma prezentată în fig. VI.30, *b*.

$$b_p=57 \text{ cm},\quad b=11 \text{ cm},\quad h_p=2,5 \text{ cm},\quad h=22 \text{ cm};$$

$$a=2 \text{ cm};\qquad h_0=h-a=20 \text{ cm}$$

$$\frac{b_p}{b}=\frac{57}{11}=5,18;\quad \frac{h_p}{h_0}=\frac{2,5}{20}=0,125$$

$$\alpha=\frac{A_a}{bh_0}\frac{R_a}{R_t}=\frac{3,14}{11\times 20}\frac{2\,900}{120}=0,345<\alpha_p.$$

Deci axa neutră cade în placă.

Valoarea lui α_p se deduce din tabela VI.13.

$$b'_p=b+0,8\,(b_p-b)=11+0,8\,(57-11)=47,8 \text{ cm}$$

$$\mu\%=\frac{A_a}{b'_p h_0}100=\frac{3,14}{47,8\times 20}100=0,328\cdot$$

Scanned with OKEN Scanner

Din tabela VI.5 se obține $\zeta = 0{,}961$

$$M = A_a R_a \zeta h_0 = 3{,}14 \times 2\,900 \times 0{,}961 \times 20 = 175\,000 \text{ kgfcm.}$$

5. Calculul secțiunilor circulare tubulare

a. *Relații de calcul*

Calculul la încovoiere a elementelor cu secțiune tubulară apare în special la tuburi și stîlpi centrifugați. În majoritatea cazurilor întîlnite în practică elementele cu secțiune circulară tubulară au armătura uniform distribuită pe contur. Pentru calculul în secțiuni normale pe axa elementului, la starea limită de rezistență, se consideră că în armătură se realizează eforturi unitare de întindere sau de compresiune egale cu R_a. Considerarea unei distribuții uniforme a efortului unitar în armături duce la erori mici.

În fig. VI.31 se arată schema de calcul la încovoiere în secțiuni normale pentru elementele cu secțiunea circulară tubulară.

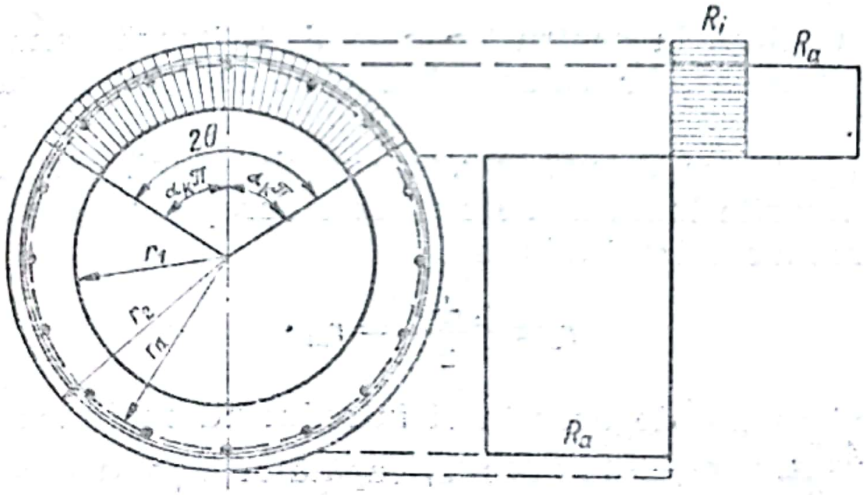


Fig. VI.31.

În calcule armătura se consideră continuă pe o linie, iar zona comprimată a secțiunii se delimitează pentru simplificare prin două raze.

Din ecuația de proiecție se obține relația

$$\alpha_k = \frac{A_a R_a}{A R_i + 2 A_a R_a}. \qquad \text{(VI.105)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Scriind ecuația de moment în raport cu centrul secțiunii și ținînd seama că $r_m = \frac{r_1 + r_2}{2}$ se obține relația (v. fig. VI.31)

$$M = \frac{\sin\theta}{\pi}\left(AR_t\frac{r_1 + r_2}{2} + 2A_aR_ar_a\right) = \frac{1}{\pi}\left(AR_t\frac{r_1 + r_2}{2} + 2A_aR_ar_a\right)\sin\frac{\pi A_aR_a}{AR_t + 2A_aR_a} \quad \text{(VI.106)}$$

în care: A este aria întregii secțiuni de beton $A = \pi(r_2^2 - r_1^2)$;

A_a — aria întregii secțiuni de armătură longitudinală;

r_a — raza cercului după care sînt dispuse armăturile longitudinale;

r_1 și r_2 sînt raza interioară și respectiv raza exterioară a secțiunii inelare.

Pentru ca ruperea să nu se producă prin cedarea betonului la compresiune, fără ca armătura din zona întinsă să ajungă la curgere, se impune ca secțiunea să respecte condiția

$$\alpha_K \leqslant 0{,}3. \quad \text{(VI.107)}$$

Deci unghiul la centru 2θ care delimitează zona comprimată trebuie să aibe valoare limită de $2 \times 0{,}3\pi$, adică 1,9 rad sau 108°.

În majoritatea cazurilor raza cercului după care sînt dispuse armăturile longitudinale r_a, este apropiată ca valoare de raza medie a secțiunii tubulare

$$r_a \approx \frac{r_1 + r_2}{2} = r_m \; ; \quad \text{(VI.108)}$$

Ținînd seama de aceasta și introducînd suplimentar notația $\alpha = \frac{A_aR_a}{AR_t}$, formula (VI.106) capătă următoarea formă simplificată

$$M = \frac{r_m}{\pi}AR_t(1 + 2\alpha)\sin\frac{\pi\alpha}{1 + 2\alpha} \quad \text{(VI.109)}$$

sau

$$M = B_t r_2^3 R_t; \quad \text{(VI.110)}$$

în care $B_t = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)\left(1 - \frac{r^2}{r_2^2}\right)(1 + 2\alpha)\sin\frac{\pi\alpha}{1 + 2\alpha}$ (VI.111)

Scanned with OKEN Scanner

Relația (VI.105) obținută din ecuația de proiecție se poate scrie sub forma

$$\alpha_k = \frac{\alpha}{1 + 2\alpha}. \qquad \text{(VI.112)}$$

Condiția (VI.107) se transformă, ținînd seama de relația (VI.112), în

$$\alpha \leqslant 0{,}75. \qquad \text{(VI.113)}$$

În tabela VI.17 se dau valorile B_t în funcție de α și de raportul r_1/r_2.

În proiectare, cunoscînd valoarea momentului încovoietor de calcul și alegînd raza exterioară r_2 și marca betonului R_t se determină valoarea B_t

$$B_t = \frac{M}{r_2^3 R_t}. \qquad \text{(VI.114)}$$

Din tabela VI.17 se stabilește α corespunzător valorii B_t calculate pentru un anumit raport r_1/r_2. Cunoscînd valoarea lui α putem determina procentul de armare necesar sau secțiunea necesară a armăturii

$$\mu = \frac{A_a}{A} = \alpha \frac{R_t}{R_a} \text{ sau} \qquad \text{(VI.115)}$$

$$A_a = \alpha A \frac{R_t}{R_a}. \qquad \text{(VI.116)}$$

În tabela VI.18 se dau valorile procentului de armare calculat cu ajutorul relației

$$\mu\,\% = \alpha \frac{R_t}{R_a} 100. \qquad \text{(VI.117)}$$

Procentul de armare s-a determinat pentru diverse tipuri de armături și mărci de betoane, în funcție de valoarea α.

Pentru armăturile din oțeluri de mărci superioare (PC 52 și PC 60), ținînd seama de eficiența folosirii acestora la betoane de mărci superioare, precum și de indicațiile prevăzute în STAS 2970-61 se dau valorile procentului de armare numai la betoanele de marcă B 300, B 400 și B 500.

În practică se mai poate pune problema verificării capacității portante. În acest caz se determină mai întîi procentul real de armare

$$\mu\,\% = \frac{A_a}{A} 100. \qquad \text{(VI.118)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.17

Calculul secțiunilor circulare tubulare

$$B_t = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)\left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right)(1 + 2\alpha)\sin\frac{\pi\alpha}{1 + 2\alpha}$$

pentru $r_a = r_m = 0{,}5\,(r_1 + r_2)$

α	Raportul razelor r_1/r_2									
	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,02	0,0353	0,0339	0,0322	0,0299	0,0272	0,0240	0,0203	0,0161	0,0113	0,0060
0,04	0,0705	0,0678	0,0642	0,0597	0,0544	0,0480	0,0406	0,0322	0,0226	0,0119
0,06	0,1055	0,1014	0,0961	0,0894	0,0813	0,0718	0,0608	0,0482	0,0339	0,0178
0,08	0,1403	0,1348	0,1277	0,1188	0,1081	0,0955	0,0808	0,0640	0,0450	0,0237
0,10	0,1747	0,1679	0,1590	0,1480	0,1346	0,1189	0,1006	0,0797	0,0561	0,0295
0,12	0,2088	0,2006	0,1900	0,1768	0,1609	0,1421	0,1203	0,0953	0,0670	0,0353
0,14	0,2426	0,2331	0,2208	0,2055	0,1869	0,1651	0,1397	0,1107	0,0778	0,0410
0,16	0,2759	0,2652	0,2512	0,2337	0,2127	0,1878	0,1589	0,1259	0,0885	0,0466
0,18	0,3090	0,2969	0,2812	0,2617	0,2381	0,2103	0,1780	0,1410	0,0991	0,0522
0,20	0,3410	0,3277	0,3104	0,2888	0,2628	0,2321	0,1964	0,1556	0,1094	0,0576
0,22	0,3740	0,3595	0,3405	0,3168	0,2883	0,2546	0,2154	0,1707	0,1200	0,0632
0,24	0,4060	0,3902	0,3696	0,3439	0,3129	0,2763	0,2339	0,1853	0,1303	0,0686
0,26	0,4376	0,4206	0,3983	0,3707	0,3373	0,2978	0,2521	0,1997	0,1404	0,0740
0,28	0,4690	0,4507	0,4269	0,3972	0,3614	0,3192	0,2701	0,2140	0,1505	0,0793
0,30	0,5000	0,4805	0,4551	0,4235	0,3854	0,3403	0,2880	0,2282	0,1605	0,0845
0,32	0,5307	0,5100	0,4831	0,4495	0,4090	0,3612	0,3057	0,2422	0,1703	0,0897
0,34	0,5611	0,5393	0,5108	0,4753	0,4325	0,3819	0,3232	0,2561	0,1801	0,0948
0,36	0,5915	0,5684	0,5384	0,5010	0,4559	0,4026	0,3407	0,2699	0,1898	0,1000
0,38	0,6212	0,5970	0,5654	0,5262	0,4787	0,4228	0,3578	0,2835	0,1993	0,1050
0,40	0,6509	0,6255	0,5924	0,5513	0,5016	0,4429	0,3749	0,2970	0,2089	0,1100
0,42	0,6802	0,6537	0,6192	0,5762	0,5242	0,4629	0,3918	0,3104	0,2183	0,1150
0,44	0,7094	0,6817	0,6457	0,6008	0,5467	0,4828	0,4086	0,3237	0,2276	0,1199
0,46	0,7383	0,7095	0,6720	0,6253	0,5690	0,5024	0,4252	0,3369	0,2369	0,1248
0,48	0,7670	0,7371	0,6981	0,6496	0,5911	0,5220	0,4418	0,3500	0,2461	0,1296
0,50	0,7955	0,7645	0,7241	0,6738	0,6131	0,5414	0,4582	0,3630	0,2553	0,1344
0,52	0,8238	0,7916	0,7498	0,6977	0,6349	0,5606	0,4745	0,3759	0,2643	0,1392
0,54	0,8519	0,8187	0,7755	0,7216	0,6566	0,5798	0,4907	0,3888	0,2734	0,1440
0,56	0,8799	0,8456	0,8009	0,7452	0,6781	0,5988	0,5068	0,4015	0,2823	0,1487
0,58	0,9077	0,8723	0,8262	0,7688	0,6995	0,6177	0,5228	0,4142	0,2913	0,1534
0,60	0,9352	0,8988	0,8513	0,7921	0,7208	0,6365	0,5387	0,4268	0,3001	0,1581
0,62	0,9627	0,9252	0,8763	0,8154	0,7419	0,6552	0,5545	0,4393	0,3089	0,1627
0,64	0,9900	0,9513	0,9011	0,8385	0,7629	0,6737	0,5702	0,4518	0,3177	0,1673
0,66	1,0171	0,9774	0,9258	0,8615	0,7838	0,6922	0,5858	0,4641	0,3264	0,1719
0,68	1,0442	1,0034	0,9504	0,8844	0,8047	0,7106	0,6014	0,4765	0,3351	0,1765
0,70	1,0710	1,0292	0,9748	0,9071	0,8254	0,7289	0,6169	0,4887	0,3437	0,1810
0,72	1,0978	1,0550	0,9992	0,9298	0,8460	0,7471	0,6323	0,5010	0,3523	0,1855
0,74	1,1244	1,0805	1,0234	0,9523	0,8665	0,7652	0,6476	0,5131	0,3608	0,1900
0,75	1,1377	1,0933	1,0355	0,9636	0,8768	0,7743	0,6553	0,5192	0,3651	0,1923

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.18

Calculul secțiunilor circulare tubulare. Procentul de armare

a	OL 38, R_a = 2 100 kgf/cm²					PC 52 R_a = 2 900 kgf/cm²			PC 60 și TOR 57 R_a = 3 400 kgf/cm²		
	B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 300	B 400	B 500	B 300	B 400	B 500
0,02	0,076	0,095	0,114	0,152	0,2	0,110	0,145	0,172	0,094	0,124	0,147
0,04	0,152	0,190	0,229	0,305	0,4	0,221	0,290	0,345	0,188	0,247	0,294
0,06	0,229	0,286	0,343	0,457	0,6	0,331	0,434	0,517	0,282	0,371	0 441
0,08	0,305	0,381	0,457	0,610	0,8	0,441	0,579	0 690	0,376	0,494	0,588
0,10	0,381	0,476	0,571	0,762	1,0	0,552	0,724	0,862	0,471	0,618	0,735
0,12	0,457	0,571	0,686	0,914	1,2	0 662	0,869	1,034	0,565	0,741	0 882
0,14	0,533	0,667	0,800	1,067	1,4	0,772	1,014	1,207	0,659	0,865	1,029
0,16	0,610	0,762	0,914	1,219	1,6	0,883	1,159	1,379	0,753	0,988	1,176
0,18	0 686	0,857	1,029	1,371	1,8	0 993	1,303	1,552	0,847	1,112	1,324
0,20	0,762	0,952	1,143	1,524	2,0	0,103	1,448	1,724	0,941	1,235	1,471
0,22	0,838	1,048	1,257	1,676	2 2	1,214	1,593	1,897	1,035	1,359	1,618
0,24	0,914	1,143	1,371	1,829	2,4	1,324	1,738	2,069	1,129	1,482	1,765
0,26	0,990	1,238	1,486	1,981	2,6	1,434	1 883	2,241	1,224	1 606	1,912
0,28	1,067	1,333	1,600	2,133	2,8	1,545	2,028	2,414	1,318	1,729	2,059
0,30	1,143	1,429	1,714	2,286	3,0	1,655	2,172	2,586	1,411	1,853	2,206
0,32	1,219	1,524	1,829	2,438	3,2	1,766	2,317	2,759	1,506	1,976	2,353
0,34	1,295	1,619	1,943	2,590	3,4	1,876	2,462	2,931	1,600	2,100	2,500
0,36	1,371	1,714	2,057	2,743	3,6	1,986	2,607	3,103	1,694	2,224	2,647
0,38	1,448	1,810	2,171	2,895	3,8	2,097	2,752	3,276	1,788	2,347	2,794
0,40	1,524	1,905	2,286	3,048	4,0	2,207	2,897	3,448	1,882	2,471	2,941
0,42	1,600	2,000	2,400	3,200	4,2	2,317	3,041	3,621	1,976	2,594	3,088
0 44	1,676	2,095	2,514	3,352	4,4	2,428	3,186	3,793	2,071	2,718	3,235
0,46	1,752	2,190	2,629	3,505	4,6	2,538	3,331	3,966	2,165	2,841	3,382
0,48	1,829	2,286	2,743	3,657	4,8	2,648	3,476	4,138	2 259	2,965	3,529
0,50	1,905	2,381	2,857	3,810	5,0	2,759	3,621	4,310	2,353	3,088	3,676
0,52	1,981	2,476	2,971	3,962	5,2	2,869	3,766	4,483	2,447	3,212	3,824
0 54	2,057	2,571	3,086	4,114	5,4	2,979	3,910	4,655	2,541	3,335	3,971
0,56	2,133	2,667	3,200	4,267	5,6	3,090	4,055	4,828	2,635	3,459	4,118
0,58	2,210	2,762	3,314	4,419	5,8	3,200	4,200	5,000	2,729	3,582	4,265
0,60	2,286	2,857	3,429	4,571	6,0	3,310	4,345	5,172	2,824	3,706	4,412
0,62	2,362	2 952	3,543	4,724	6,2	3,421	4,490	5,345	2,918	3,829	4,559
0,64	2,438	3,018	3,657	4,876	6,4	3,531	4,634	5,517	3,012	3,953	4,706
0,66	2,514	3,143	3,771	5,029	6,6	3,641	4,779	5,690	3,106	4,076	4,853
0,68	2,590	3,238	3,886	5,181	6,8	3,752	4,924	5,862	3,200	4,200	5,000
0,70	2,667	3,333	4,000	5,333	7,0	3,862	5,069	6,034	3,294	4,324	5,147
0,72	2,743	3,429	4,114	5,486	7,2	3,972	5,214	6,207	3,388	4,447	5,294
0,74	2,819	3,524	4,229	5,638	7,4	4,083	5,359	6,379	3,482	4,571	5,441
0,75	2,857	3,571	4,286	5,714	7,5	4 138	5,431	6,466	3,529	4,632	5,515

Scanned with OKEN Scanner

Din tabela VI.18, ținînd seama de caracteristicile materialelor, se determină valoarea α, corespunzătoare procentului de armare calculat. Se poate renunța însă la folosirea acestei tabele, calculînd direct valoarea α cu ajutorul relației

$$\alpha = \frac{A_a}{A}\frac{R_a}{R_i}, \qquad \text{(VI.119)}$$

Din tabela VI.17, pentru valoarea α obținută și pentru raportul real dintre raze, se obține valoarea coeficientului B_i.

Valoarea de calcul a momentului capabil se determină cu ajutorul relației (VI.110).

b. *Exemple de calcul*

Exemplul VI.21. Să se determine momentul capabil pentru un stîlp centrifugat cu secțiunea circulară tubulară (fig. VI.32) cunoscînd: diametrul exterior D=72 cm; diametrul interior d=58 cm; armarea cu 24 bare PC 52 cu diametrul nominal de 20 mm, A_a=75,40 cm^2 cu R_a= =2 900 kgf/cm^2; marca betonului B 400 cu R_i=210 kgf/cm^2.

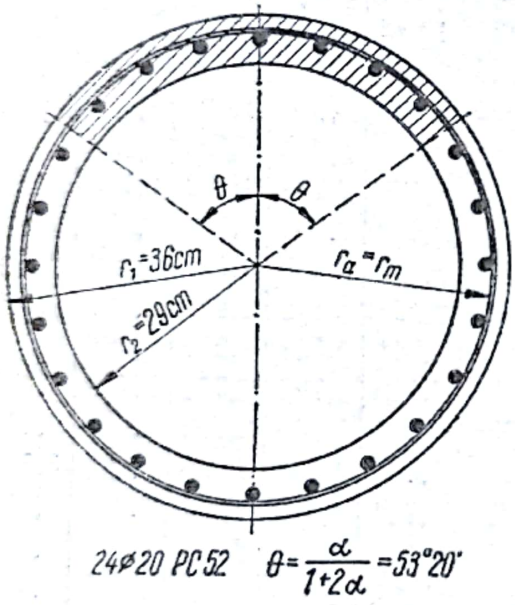


Fig. VI.32.

$$r_2 = \frac{D}{2} = 36 \text{ cm}; \quad r_1 = \frac{d}{2} = 29 \text{ cm}$$

$$A = \pi (r_2^2 - r_1^2) = 1\,429{,}5 \text{ cm}^2$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{29}{36} = 0{,}806 \approx 0{,}8$$

$$\alpha = \frac{A_a R_a}{A R_i} = \frac{75{,}4 \times 2\,900}{1\,429{,}5 \times 210} =$$

$$= 0{,}73 < 0{,}75.$$

Se consideră $r_a = \frac{r_1 + r_2}{2} = 32{,}5$ cm.

Din tabela VI.17, pentru α=0,73 și $\frac{r_1}{r_2}$ =0,8, se obține valoarea B_i=0,64.

Valoarea momentului capabil se determină cu ajutorul relației (VI.110)

$$M = B_i r_2^3 R_i = 0{,}64 \times 36^3 \times 210 = 6\,270\,000 \text{ kgfcm} = 62{,}7 \text{ tfm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Exemplul VI.22. Să se determine armătura necesară unui stîlp de susţinere pentru liniile electrice aeriene, cu secţiunea circulară tubulară, cunoscînd dimensiunile secţiunii de calcul $D=52$ cm şi $d=38$ cm; momentul de calcul $M=30$ tfm; marca betonului B 400 cu $R_t=210$ kgf/cm^2.

Se va determina armătura în ipoteza că se execută din oţel OL 38 şi OL×52 (bare PC 52).

$$r_2=\frac{D}{2}=26\text{ cm};\ r_1=\frac{d}{2}=19\text{ cm};\ \frac{r_1}{r_2}=\frac{19}{26}=0{,}731$$

$$A=\pi(26^2-19^2)=989\ \text{cm}^2.$$

Se consideră $r_a=\frac{r_1+r_2}{2}=22{,}5$ cm

$$B_t=\frac{M}{r_2^3R_t}=\frac{3\,000\,000}{26^3\times 210}=0{,}815\cdot$$

Din tabela VI.17 se obţine prin interpolare valoarea α:

$$\alpha=0{,}745.$$

În cazul armării cu bare din oţel de marcă OL 38 se obţine din tabela VI.18 $\mu=7{,}45\%$.

$$A_a=\frac{\mu}{100}A=\frac{7{,}45}{100}989=73{,}6\ \text{cm}^2.$$

Se aleg 24 ∅ 20 mm ($A_a=75{,}4$ cm^2).

În cazul armării cu bare PC 52 cu $R_a=2\,900$ kgf/cm^2 din tabela VI.18 se obţine $\mu=5{,}395\%$

$$A_a=\frac{\mu}{100}A=\frac{5{,}395}{100}989=53{,}4\ \text{cm}^2.$$

Se aleg 21 ∅ 18 mm ($A_a=53{,}4$ cm^2).

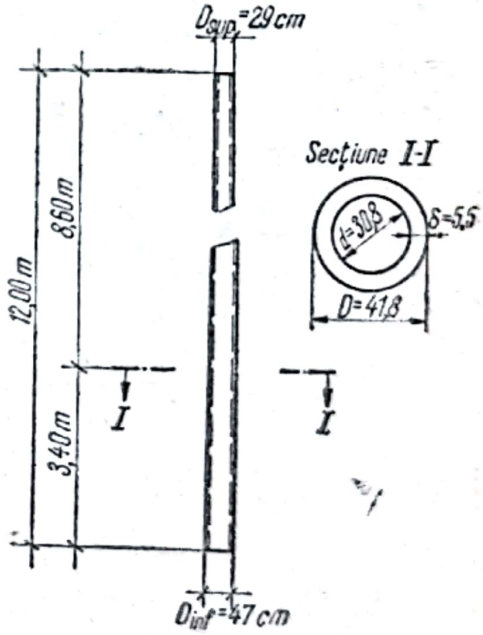


Fig. VI.33.

Exemplul VI.23. Să se determine armătura necesară în secţiunea de la încastrare, situată la 3,40 m de bază pentru stîlpul de beton armat centrifugat SECF 12-8 din fig. VI.33 utilizat pentru susţinerea liniei de contact la calea ferată electrificată, cunoscînd: lungimea stîlpului 12 m; diametrul exterior la bază 47 cm; diametrul exterior la vîrf 29 cm; gro-

simea peretelui în secțiunea de calcul $\delta=5{,}5$ cm; marca betonului B 400 cu $R_i=210$ kgf/cm²; momentul încovoietor din încărcările normate $M^n=8$ tfm; valoarea medie a coeficientului de supraîncărcare $n=1{,}4$.

Se va determina armătura necesară în ipoteza că se execută din oțel OL 38 cu $R_a=2\,100$ kgf/cm² și din oțel OL×60 — bare PC 60 cu $R_a=3\,400$ kgf/cm².

În secțiunea de la încastrare se obțin următoarele dimensiuni:

$$D=47-\frac{47-29}{12}3{,}4=41{,}8 \text{ cm}$$

$$d=41{,}8-2\times5{,}5=30{,}8 \text{ cm}$$

$$r_2=\frac{D}{2}=20{,}9 \text{ cm};\quad r_1=\frac{d}{2}=15{,}4 \text{ cm};\quad \frac{r_1}{r_2}=0{,}74$$

$$A=\pi(r_2^2-r_1^2)=627 \text{ cm}^2.$$

$$B_l=\frac{n M^n}{r_2^3 R_l}=\frac{1{,}4\times8\,000\,000}{20{,}9^3\times210}=0{,}585,$$

Din tabela VI.17 se obține $\alpha=0{,}54$.

În ipoteza armării cu bare OL 38, din tabela VI.18 se obține $\mu=5{,}4\%$.

$$A_a=\frac{\mu}{100}A=\frac{5{,}4}{100}627=33{,}9 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 22 ∅ 14 mm ($A_a=33{,}9$ cm²).

În ipoteza armării cu bare PC 60, din tabela VI.18 se obține $\mu=3{,}335\%$

$$A_a=\frac{\mu}{100}A=\frac{3{,}335}{100}627=20{,}9 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 14 ∅ 14 mm ($A_a=21{,}55$ cm²).

6. Calculul secțiunilor supuse la încovoiere oblică

a. *Relații de calcul*

La calculul în secțiunile normale ale elementelor de beton armat supuse la încovoiere oblică se va ține seama de indicațiile de la pct. A,1,c.

Scanned with OKEN Scanner

Calculul elementelor se poate face prin trei ecuații de echilibru:

— ecuația de proiecție pe axa elementului ($\Sigma z=0$);

— ecuația de moment în raport cu axa orizontală care trece prin centrul de greutate al armăturii A_{ax} ($\Sigma M_x=0$);

— ecuația de moment în raport cu axa verticală care trece prin centrul de greutate al armăturii A_{ay} ($\Sigma M_y=0$).

La calculul elementelor dublu armate trebuie verificată condiția (VI.11): $z_b \leqslant z_a$. Dacă secțiunea nu respectă această condiție, valoarea momentului capabil se va determina cu relația (VI.120), dar se va lua cel puțin egală cu valoarea calculată pentru secțiunea simplu armată, la care se neglijează aportul armăturii din zona comprimată

$$M=A_a R_a z_a. \qquad \text{(VI.120)}$$

În general calculul elementelor supuse la încovoiere oblică se face prin încercări succesive, căutînd o poziție a axei neutre pentru care centrul de greutate al armăturii întinse și centrul de greutate al zonei comprimate să se găsească în planul de acționare al forțelor și să satisfacă condițiile de echilibru.

În unele cazuri se poate determina direct din calcule poziția axei neutre. Astfel, la secțiunile dreptunghiulare, se pot scrie ecuațiile de echilibru din care, prin rezolvare, se obțin valorile necunoscutelor.

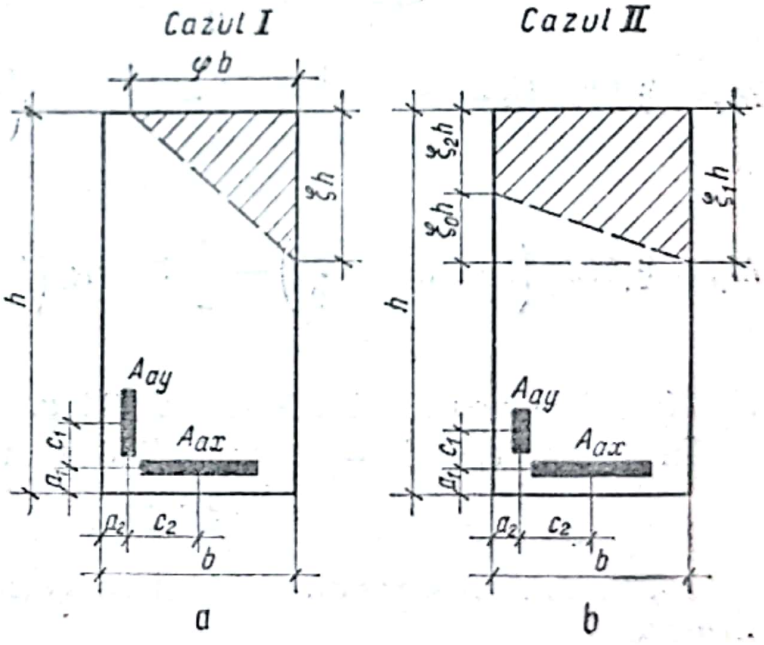


Fig. VI.34.

Axa neutră poate să intersecteze o singură față sau ambele fețe laterale (de înălțime h) ale secțiunii, după cum se arată în fig. VI.34.

— Pentru $\frac{M_y}{M_x}\frac{h}{b} \geqslant 0{,}365$ (cazul I) zona comprimată are o formă triunghiulară; axa neutră intersectează baza și înălțimea secțiunii (v. fig. VI.34, *a*).

Scanned with OKEN Scanner

— Pentru $\frac{M_y}{M_x}\frac{h}{b}<0{,}365$ (cazul II) zona comprimată are o formă trapezoidală; axa neutră intersectează laturile laterale de înălțime h ale secțiunii (v. fig. VI.34, *b*).

Cazul I. Ecuațiile de echilibru sînt următoarele:

$$\frac{1}{2}\xi h \varphi b R_i = A_a R_a; \tag{VI.121}$$

$$M_x = \frac{1}{2}\xi h \varphi b R_i\left(h - a_1 - \frac{1}{3}\xi h\right) - A_{ay} R_a c_1; \tag{VI.122}$$

$$M_y = \frac{1}{2}\xi h \varphi b R_i\left(b - a_2 - \frac{1}{3}\varphi b\right) - A_{ax} R_a c_2; \tag{VI.123}$$

$$A_a = A_{cx} + A_{ay}. \tag{VI.124}$$

Notațiile rezultă din figura VI.34, *a*.

Cazul II. Ecuațiile de echilibru sînt următoarele:

$$\xi_1 h b R_i - \frac{1}{2}\xi_0 h b R_i = A_a R_a; \tag{VI.125}$$

$$M_x = \xi_1 h b R_i\left(h - a_1 - \frac{1}{2}\xi_1 h\right) - \frac{1}{2}\xi_0 h b R_i\left(h - a_1 - \xi_1 h + \frac{1}{3}\xi_0 h\right) - A_{ay} R_a c_1 \tag{VI.126}$$

$$M_y = \xi_1 h b R_i\left(b - a_2 - \frac{b}{2}\right) - \frac{1}{2}\xi_0 h b R_i\left(b - a_2 - \frac{2}{3}b\right) - A_{ax} R_a c_2 \tag{VI.127}$$

Notațiile rezultă din figura VI.34, *b*.

În normativul P. 8-62 se indică să fie respectată condiția

$$x \leqslant 0{,}4\, h_0. \tag{VI.128}$$

M. S. Torianik recomandă să se verifice condiția de suprarmare

$$\sqrt{S_{bx}^2 + S_{by}^2} \leqslant 0{,}8 \sqrt{S_{ox}^2 + S_{oy}^2} \tag{VI.129}$$

în care: S_{bx} și S_{by} sînt momentele statice ale zonei comprimate de beton în raport cu axele Ox Oy care trec prin centrul de greutate al întregii armături întinse și sînt paralele cu axele principale;

Scanned with OKEN Scanner

S_{Ox} și S_{Oy} sînt momentele statice ale secțiunii transversale utile, în raport cu axele paralele la axele principale, care trec prin centrul de greutate al întregii armături din zona întinsă.

Grinzile cu secțiunea T sau L cu talpa în zona întinsă se calculează în mod analog cu grinzile de secțiune dreptunghiulară. În cazul grinzilor de înălțime mare și cu placă de grosime redusă, axa neutră este de regulă situată în întregime în inima grinzii. În exemplul VI.24 se arată modul în care se efectuează calculul pentru grinzile cu secțiunea T și L.

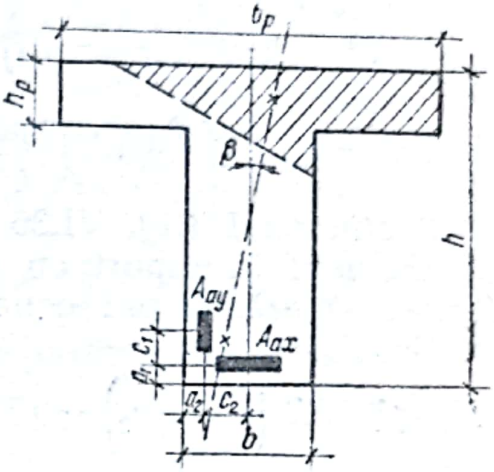


Fig. VI.35.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul VI.24. Să se scrie ecuațiile de echilibru pentru grinzile T și L cunoscînd că axa neutră cade integral în inima grinzii. Notațiile folosite rezultă din figura VI.36.

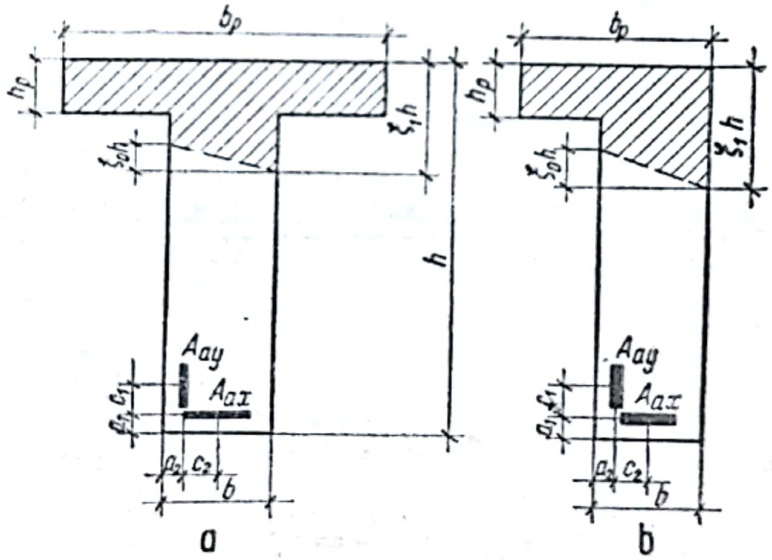


Fig. VI.36.

Secțiunea T (fig. VI.36, *a*). Ecuația de proiecție

$$\xi_1 h b R_i - 0{,}5\, \xi_0 h b R_i + 0{,}8 (b_p - b) h_p R_i = A_a R_a \quad \text{(VI.130)}$$

în care $A_a = A_{ax} + A_{ay}$.

Scanned with OKEN Scanner

Momentul în raport cu axa orizontală care trece prin centrul de greutate al armăturii A_{ax}

$$M_x \leqslant \xi_1 h\, b\, R_i (h - a_1 - 0{,}5\xi_1 h) - 0{,}5\xi_0\, h\, b\, R_i (h - a_1 - \xi_1 h + 0{,}5\xi_0 h) + \\ + 0{,}8\,(h_p - b)\, h_p\, R_i\, (h - a_1 - 0{,}5\, h_p) - A_{ay}\, R_a\, c_1. \qquad \text{(VI.131)}$$

Momentul în raport cu axa verticală care trece prin centrul de greutate al armăturii A_{ay}

$$M_y \leqslant \xi_1 hbR_i \left(\frac{b}{2} - a_2\right) - 0{,}5\xi_0 hbR_i \left(b - a_2 - \frac{2}{3} b\right) + \\ + 0{,}8\,(b_p - b)\, h_p R_i \left(\frac{b}{2} - a_2\right) - A_{ax} R_a c_2. \qquad \text{(VI.132)}$$

Secțiunea L (fig. VI.36, *b*). Ecuația de proiecție și ecuația de moment în raport cu axa orizontală se scrie în aceeași formă. Diferă numai ecuația de moment în raport cu axa verticală

$$M_y \leqslant \xi_1 hbR_i \left(\frac{b}{2} - a_2\right) - 0{,}5\xi_0 hbR_i \left(\frac{b}{3} - a_2\right) - 0{,}8\,(b_p - b) h_p R_i \times \\ \times \left(\frac{b'_p - b}{2} + a_2\right) - A_{ax} R_a c_2. \qquad \text{(VI.133)}$$

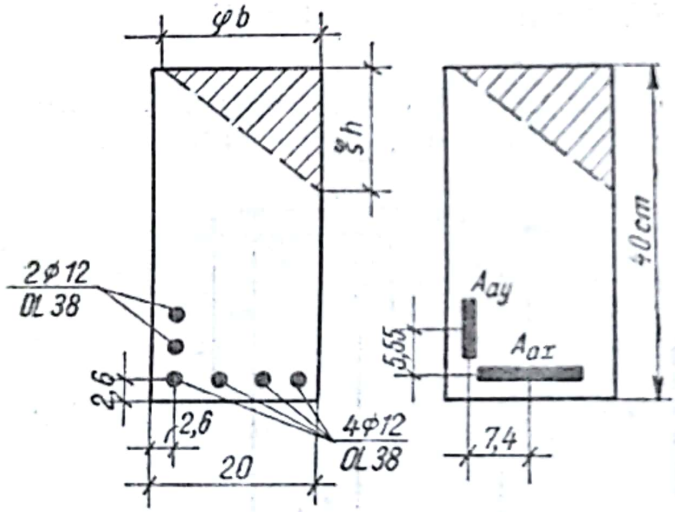


Fig. VI.37.

Exemplul VI.25. Să se determine valoarea de calcul a momentelor capabile M_x și M_y pentru grinda cu secțiune dreptunghiulară din fig. VI.37 cunoscînd: $b = 20$ cm; $h = 40$ cm; armarea cu 6 bare ∅ 12 mm, OL 38.

$$A_a = A_{ax} + A_{ay} = 6{,}78 \text{ cm}^2;\quad A_{ax} = 4{,}52 \text{ cm}^2;\quad A_{ay} = 2{,}26 \text{ cm}^2$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{M_y}{M_x} = 0{,}2$$

$$a_1 = a_2 = 2{,}6 \text{ cm};\quad c_1 = 5{,}55 \text{ cm};\quad c_2 = 7{,}4 \text{ cm}.$$

Deoarece $\operatorname{tg}\beta \frac{h}{b} = \frac{M_y}{M_x} \frac{h}{b} = 0{,}4 > 0{,}365$ zona comprimată a betonului va avea o formă triunghiulară. Pentru calcule se vor folosi relațiile (VI.121), (VI.122) și (VI.123).

Ecuaţia de proiecţie

$$\frac{1}{2}\xi\,40\,\varphi\,20\times100=6{,}78\times2\,100. \qquad \text{(VI.134)}$$

Ecuaţiile de moment

$$M_x=\frac{1}{2}\xi\,40\,\varphi\,20\times100\left(40-2{,}6-\frac{40\xi}{3}\right)-2{,}26\times2\,100\times5{,}55 \qquad \text{(VI.135)}$$

$$M_y=\frac{1}{2}\xi 40\varphi 20\times100\left(20-2{,}6-\frac{20\varphi}{3}\right)-4{,}52\times2\,100\times7{,}4. \qquad \text{(VI.136)}$$

Ţinînd seama că $\frac{M_y}{M_x}=\operatorname{tg}\beta=0{,}2$ se obţine după simplificări

$$\frac{14{,}238\left(17{,}4-\frac{2}{3}\varphi\right)-70{,}2}{14{,}238\left(37{,}4-\frac{4}{3}\xi\right)-26{,}38}=0{,}2; \qquad \text{(VI.137)}$$

S-a ţinut seama, pe baza relaţiei (VI.134), că

$$\xi\varphi=\frac{6{,}78\times2\,100}{0{,}5\times40\times20\times100}=0{,}356; \qquad \text{(VI.138)}$$

Rezolvînd sistemul de două ecuaţii cu două necunoscute (VI.137) şi (VI.138) se obţine valoarea necunoscutelor ξ şi φ

$$\xi=0{,}373;\quad \varphi=0{,}955.$$

Introducînd aceste valori în ecuaţiile (VI.135) şi (VI.136) se obţin momentele capabile M_x şi M_y

$$M_x=4{,}35\ \text{tfm};\quad M_y=0{,}87\ \text{tfm}$$

$$M=\sqrt{M_x^2+M_y^2}=4{,}43\ \text{tfm}.$$

Exemplul VI.26. Să se determine încărcarea de calcul care poate acţiona pe o pană de acoperiş cunoscînd panta acoperişului $\beta=8^\circ$ ($\operatorname{tg}\beta=0{,}141$), deschiderea de calcul a panei de acoperiş $L=6$ m şi secţiunea transversală dreptunghiulară

Scanned with OKEN Scanner

(fig. VI.38) $b=20$ cm și $h=40$ cm; armarea cu 5 bare OL 38 $\varnothing$ 12 mm; marca betonului B 200 cu $R_i=100$ kgf/cm².

$$a_1=a_2=2{,}6 \text{ cm}; \quad c_1=3{,}7 \text{ cm}; \quad c_2=7{,}4 \text{ cm};$$

$$A_{ax}=4{,}52 \text{ cm}^2; \quad A_{ay}=1{,}13 \text{ cm}^2; \quad A_a=A_{ax}+A_{ay}=5{,}65 \text{ cm}^2$$

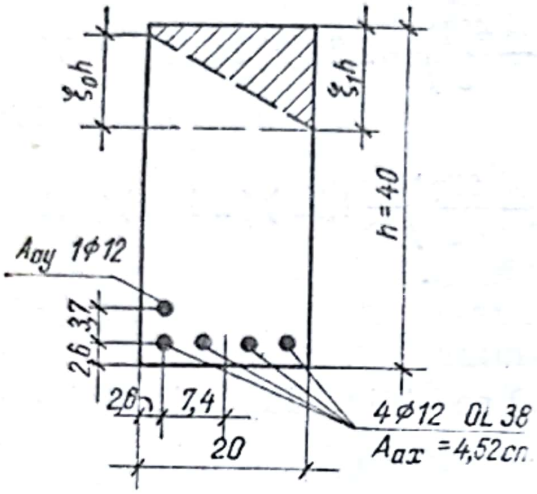


Fig. VI.38.

$$\frac{h}{b}\operatorname{tg}\beta=0{,}282<0{,}364.$$

Zona comprimată are o formă trapezoidală iar axa neutră intersectează laturile laterale ale secțiunii de înălțime h. Pentru calcul se vor folosi relațiile (VI.125), (VI.126) și (VI.127).

Ecuația de proiecție

$$\xi_1 40\times 20\times 100-\frac{1}{2}\xi_0 40\times 20\times 100=5{,}65\times 2\,100. \quad \text{(VI.139)}$$

Ecuațiile de moment

$$M_x=\xi_1 40\times 20\times 100\left(40-2{,}6-\frac{1}{2}\xi_1 40\right)-\frac{1}{2}\xi_0 40\times 20\times 100\left(40-2{,}6-40\xi_1+\frac{1}{3}\xi_0 40\right)-1{,}13\times 2\,100\times 3{,}7 \quad \text{(VI.140)}$$

$$M_y=\xi_1 40\times 20\times 100\,(20-2{,}6-10)-\frac{1}{2}\xi_0 40\times 20\times 100\left(20-2{,}6-\frac{2}{3}20\right)-4{,}52\times 2\,100\times 7{,}4. \quad \text{(VI.141)}$$

Ținînd seama că $\frac{M_y}{M_x}=\operatorname{tg}\beta=0{,}141$ se obține după simplificări

$$\frac{59{,}2\xi_1-16{,}4\xi_0-7{,}02}{8\xi_1(37{,}4-20\xi_1)-4\xi_0(37{,}4-40\xi_1+13{,}2\xi_0)-0{,}878}=0{,}141 \quad \text{(VI.142)}$$

Din rezolvarea ecuațiilor (VI.139) și (VI.142) se obține

$$\xi_1=0{,}29; \quad \xi_0=0{,}28.$$

Scanned with OKEN Scanner

Introducînd aceste valori în ecuațiile (VI.140) și (VI.141), se obțin valorile momentelor capabile M_x și M_y

$$M_x = 394\,220 \text{ kgfcm}; \quad M_y = 55\,300 \text{ kgfcm};$$

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 398\,000 \text{ kgfcm}.$$

Deci încărcarea de calcul uniform distribuită q este

$$q = \frac{8M}{l^2} = 885 \text{ kgf/m}.$$

B. CALCULUL ÎN SECȚIUNI ÎNCLINATE

1. Calculul armăturilor transversale

a. *Relații fundamentale de calcul*

Calculul la starea limită de rezistență în secțiuni înclinate față de axa elementului se face atît la moment încovoietor cît și la forță tăietoare. Condițiile de echilibru pentru starea limită de rezistență într-o secțiune înclinată (fig. VI.39) se exprimă cu ajutorul relațiilor:

$$M \leqslant A_a R_a z + \sum A_{ai} R_a z_i + \sum A_{e,t} R_a z_e \qquad \text{(VI.143)}$$

$$Q \leqslant \sum A_{ai} R_{at} \sin \alpha + \sum A_{e,t} R_{at} + Q_b \qquad \text{(VI.144)}$$

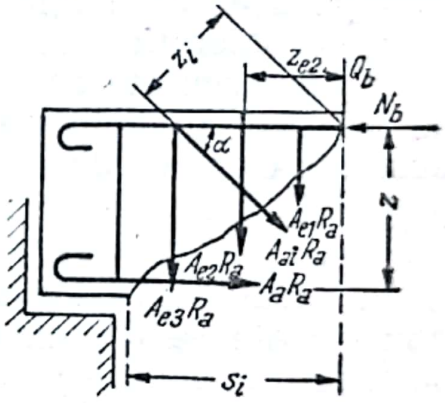


Fig. VI.39.

în care: A_{ai} este aria secțiunii fiecărei bare înclinate care întretaie secțiunea considerată;

$A_{e,t}$ — aria secțiunii etrierilor dintr-un plan transversal;

z, z_i și z_e sînt distanțele de la centrele de greutate ale secțiunii armăturilor longitudinale întinse, respectiv de la fiecare armătură înclinată sau de la fiecare etrier considerat, pînă la centrul de greutate al zonei comprimate;

R_{at} este rezistența de calcul pentru armătura transversală determinată prin înmulțirea rezis-

tenţelor normate R^a cu coeficientul de omogenitate k_a şi coeficienţii condiţiilor de lucru m_a.

Valorile rezistenţelor de calcul sînt indicate în tabela I.5;

Q_b — proiecţia pe normala la axa elementului a solicitării limită pe care o poate prelua zona comprimată de beton a secţiunii înclinate.

Valoarea lui Q_b pentru elemente cu secţiune dreptunghiulară, T, I sau casetată se determină cu ajutorul relaţiei

$$Q_b = \frac{0{,}15 b l_0^2 R_t}{s_i} \qquad \text{(VI.145)}$$

unde s_i este lungimea proiecţiei pe axa elementului a secţiunii înclinate.

Momentul încovoietor de calcul pentru secţiunea înclinată considerată se determină în raport cu centrul de greutate al zonei comprimate.

Ca valoare de calcul a forţei tăietoare în secţiunea înclinată se consideră valoarea maximă a forţei tăietoare pe lungimea proiecţiei secţiunii înclinate; partea din încărcare aplicată pe această lungime, care reduce forţa tăietoare, nu se ia în consideraţie decît în cazurile specificate în continuare.

În conformitate cu prevederile normativului P. 8-62 calculul în secţiuni înclinate pentru forţe tăietoare se efectuează numai în cazul cînd nu este satisfăcută condiţia

$$Q \leqslant b\, h_0\, R_t. \qquad \text{(VI.146)}$$

În cazul cînd este satisfăcută relaţia (VI.146) armăturile transversale se dispun constructiv iar verificarea capacităţii portante în secţiuni înclinate a unui element dat nu mai este necesară. Elementele încovoiate de beton armat cu secţiuni dreptunghiulare, T, I sau casetate, vor fi astfel dimensionate încît să fie respectată condiţia

$$Q \leqslant 4\, b\, h_0\, R_t. \qquad \text{(VI.147)}$$

În tehnologia curentă se folosesc următoarele tipuri de armături transversale: etrieri legaţi sau sudaţi, bare transversale sudate perpendiculare pe axa elementului, bare transversale înclinate uniform distribuite pe anumite porţiuni în cadrul unor carcase sudate, bare înclinate (ridicate din armăturile longitudinale) în carcase legate etc.

Aşa cum rezultă din relaţia (VI.144) dintre toate tipurile de armături cele mai eficiente ar fi armăturile transversale dispuse normal pe axa elementului. Cu toate avantajele aces-

Scanned with OKEN Scanner

tora din urmă din punct de vedere al execuţiei, armarea cu carcase legate nu oferă posibilitatea întreruperii curente în zona întinsă a armăturilor longitudinale, care rămîn nefolosite prin scăderea momentului încovoietor.

b. *Calculul etrierilor sau armăturilor transversale sudate*

Pentru preluarea forţei tăietoare pot fi folosiţi etrieri sau bare sudate dispuse normal pe axa elementului, barele încli-

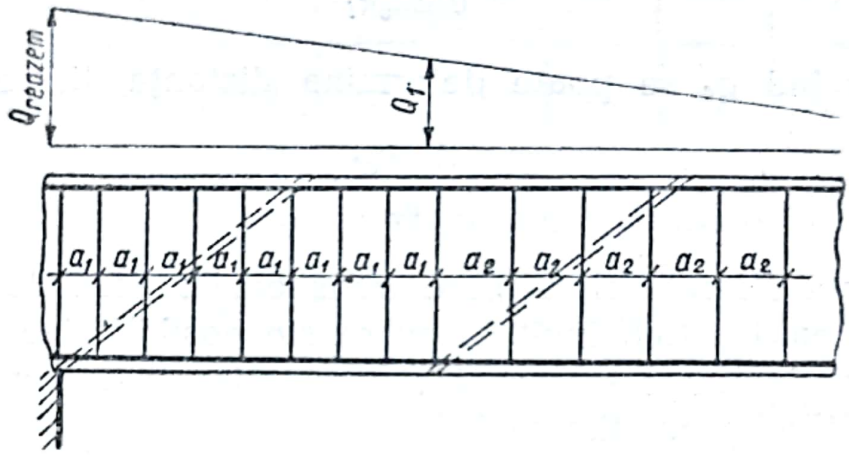


Fig. VI.40.

nate lipsind cu desăvîrşire. În funcţie de valoarea solicitării de calcul (forţei tăietoare) distanţele şi secţiunile acestor bare pot să difere de la o zonă la alta a elementului.

Calculul etrierilor trebuie să se efectueze în secţiunea de la marginea reazemului şi în punctele în care se prevede schimbarea distanţei dintre ei (fig. VI.40). Acest calcul se efectuează pe baza forţei tăietoare maxime din zona respectivă.

Forţa tăietoare care poate fi preluată numai de betonul zonei comprimate şi de etrieri se exprimă cu ajutorul relaţiei

$$Q_{eb} = \sqrt{0{,}6\, b\, l_0^2 R_i\, q_e} - A_{e,t}\, R_{at} \qquad \text{(VI.148)}$$

în care: q_e este efortul limită preluat de etrieri pe unitatea de lungime a elementului determinat cu relaţia

$$q_e = \frac{A_{e\,t} R_{at}}{a}; \qquad \text{(VI.149)}$$

a fiind distanţa dintre etrieri.

Scanned with OKEN Scanner

În relația (VI.148) ultimul termen reprezintă capacitatea unui etrier, cînd acesta este situat la capătul fisurii înclinate.

Pentru determinarea secțiunii totale a etrierului (toate ramurile etrierilor din același plan) este necesară cunoașterea efortului limită preluat de etrieri pe unitatea de lungime, q_e.

În consecință, efortul limită preluat prin etrierii de secțiune dată pe unitatea de lungime a elementului va fi:

$$q_e = \frac{(Q + A_{e,t} R_{at})^2}{0{,}6 b h_0^2 R_i}. \qquad \text{(VI.150)}$$

Cunoscînd q_e se poate determina distanța dintre etrieri

$$a = \frac{A_{e,t} R_{at}}{q_e}. \qquad \text{(VI.151)}$$

Distanța dintre etrieri (bare transversale normale sudate) trebuie aleasă astfel, încît să nu existe posibilitatea formării unei fisuri înclinate între doi etrieri alăturați, întreaga forță tăietoare fiind preluată numai de beton.

Pe această bază

$$a \leqslant \frac{0{,}15 b h_0^2 R_i}{Q}. \qquad \text{(VI.152)}$$

Pentru a se evita consecințele unor neconcordanțe dintre distanța de calcul și cea reală, precum și în ce privește direcția fisurii înclinate, normativul P. 8-62 prevede micșorarea distanței maxime dintre etrieri.

În acest mod

$$a_{max} = \frac{0{,}1 b h_0^2 R_i}{Q}. \qquad \text{(VI.153)}$$

Această distanță maximă poate fi determinată mai ușor cu ajutorul tabelei VI.19 unde se găsește raportul a_{max}/h_0 în funcție de raportul $Q/b\, h_0\, R_i$ sau $Q/b\, h_0$.

În cazul cînd elementul de calculat este supus unei încărcări uniform distribuite nefracționabile p, (de exemplu presiunea hidrostatică, împingerea pămîntului etc.) în calculul forței tăietoare trebuie să se țină seama de partea din încărcare

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.19

Determinarea distanței maxime dintre etrieri a_{max}/h_0

$\frac{Q}{bh_0R_t}$		$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{10}$
$\frac{Q}{bh_0}$ pentru	B 150	26,7	20,0	16	13,3	11,4	10	8,9	8,0
	B 200	33,3	25,0	20	16,7	14,3	12,5	11,1	10,0
	B 250	40,0	30,0	24	20,0	17,1	15,0	13,3	12,0
	B 300	53,3	40,0	32	26,7	22,9	20,0	17,8	16,0
$\frac{a_{max}}{h_0}$		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

aplicată pe lungimea proiecției secțiunii înclinate, care reduce forța tăietoare dacă

— încărcările sînt îndreptate de sus în jos și aplicate pe fața superioară a elementului;

— încărcările sînt îndreptate de jos în sus și aplicate pe fața inferioară a elementului.

În acest caz, în locul valorilor q_e din relațiile anterioare, se introduce q_e+p. În valoarea p va fi inclusă și greutatea elementului înmulțită cu coeficientul 0,5.

Forța tăietoare preluată de beton și etrieri va deveni

$$Q_{eb}=\sqrt{0,6\,b\,h_0^2\,R_t\,(q_e+p)}-A_{e.t}\,R_{at}. \qquad \text{(VI.154)}$$

La stabilirea distanței dintre etrieri trebuie respectate indicațiile constructive prevăzute de normativul P. 8-62.

Astfel, în grinzile cu înălțimea secțiunii $h>30$ cm se vor prevedea totdeauna, independent de rezultatele calculului, etrieri sau bare transversale sudate, paralele cu planul încovoierii.

În grinzile cu înălțimea 15 cm$<h\leqslant$30 cm etrierii sau barele transversale vor fi așezate la capetele elementului pe o lungime de cel puțin $^1/_4$ din deschidere, dacă din calcul nu rezultă necesitatea amplasării lor pe întreaga deschidere.

La grinzile cu înălțimea $h\leqslant$15 cm se poate renunța complet la armătura transversală, dacă ea nu este necesară din calcul.

Scanned with OKEN Scanner

Se permite de asemenea să se renunțe la armătura transversală din elementele prefabricate ale planșeelor cu goluri sau nervuri dese dacă înălțimea este de cel mult 30 cm și este respectată condiția

$$Q \leqslant \sqrt{0{,}6\, b\, h_0^2\, R_t\, g_1} \qquad \text{(VI.155)}$$

în care g_1 este încărcarea permanentă totală uniform distribuită din care se scade jumătate din greutatea proprie a elementului.

La grinzi care nu au bare înclinate, distanțele dintre etrieri sau barele transversale sudate, paralele cu planul încovoierii vor fi pe porțiunile dinspre reazeme:

— maximum 15 cm pentru grinzile cu înălțimea $h \leqslant 45$ cm;

— maximum 30 cm și maximum h pentru grinzile cu înălțimea $h > 45$ cm.

Porțiunea dinspre reazeme la care se referă această condiție este de:

— $^1/_4$ din deschiderea elementului în cazul încărcărilor uniform distribuite;

— distanța dintre reazem și încărcarea cea mai apropiată de el în cazul încărcărilor concentrate.

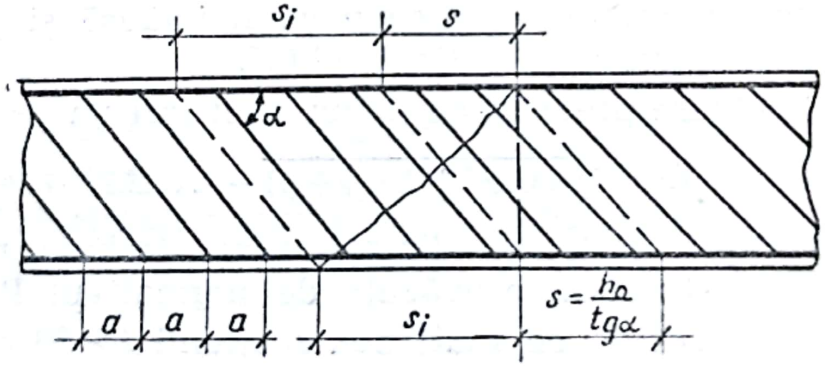


Fig. VI.41.

În restul deschiderii, precum și în zonele de amplasare a barelor înclinate, distanțele dintre etrieri sau barele transversale vor fi de maximum 50 cm și cel mult de $\frac{3}{4}\, h$.

Cînd etrierii sau barele transversale rezultă ca necesare din calcul, distanțele maxime dintre ele trebuie să respecte și condiția (VI.153).

Scanned with OKEN Scanner

Uneori se folosesc în carcasele sudate bare înclinate la 45° și dispuse la distanțe egale pe o anumită lungime (fig. VI.41). Aceste bare se calculează folosind relația

$$Q < Q_{eb} = \sqrt{0{,}6bh_0^2 k_i q_{ei}} + q_{ei} h_0 - \frac{A_{e,t} R_{at}}{\sqrt{2}} \qquad \text{(VI.156)}$$

în care $q_{ei} = \frac{A_{e,t} R_{at}}{a\sqrt{2}}$ este efortul limită preluat de etrierii înclinați pe unitatea de lungime a elementului.

c. *Dimensionarea armăturii transversale formate din bare înclinate și etrieri*

La armarea elementelor încovoiate cu etrieri și armături înclinate secțiunea barelor îndoite trebuie să fie suficientă pentru ca în orice secțiune înclinată să poată prelua solicitarea egală cu diferența dintre forța tăietoare totală de calcul și forța tăietoare preluată de etrieri și betonul zonei comprimate Q_{eb}. Independent de rezultatele calculului, vor fi prevăzuți etrieri sau bare înclinate conform observațiilor de la punctul precedent. În cea mai defavorabilă poziție a secțiunii înclinate trebuie respectată condiția

$$Q \leqslant \Sigma A_{ai} R_{at} \sin \alpha + Q_{eb}. \qquad \text{(VI.157)}$$

Secțiunea armăturilor înclinate poate fi determinată acoperitor cu ajutorul relației

$$\Sigma A_{ai} = \frac{Q - Q_{eb}}{R_{at} \sin \alpha} = \frac{Q_i}{R_{at} \sin \alpha} \qquad \text{(VI.158)}$$

în care: α este unghiul dintre bara înclinată și axa elementului;

Q_i — partea din forța tăietoare preluată de armăturile înclinate;

Q — forța tăietoare maximă din secțiunea respectivă determinată astfel:

- pentru barele ridicate în secțiunea de lîngă reazem se ia forța tăietoare de la marginea reazemului;
- pentru barele ridicate în secțiunile următoare se ia forța tăietoare din dreptul punctului inferior al porțiunii înclinate a barei precedente (fig. VI.42).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru simplificarea operațiilor de alegere a barelor înclinate dintr-o secțiune se poate folosi tabela VI.20.

Pe lîngă determinarea numărului de bare care trebuie îndoite într-o secțiune, mai este necesară stabilirea locului de ridicare a acestora.

Pe porțiunea în care barele înclinate se determină din calcul, acestea trebuie să se așeze la o anumită distanță pen-

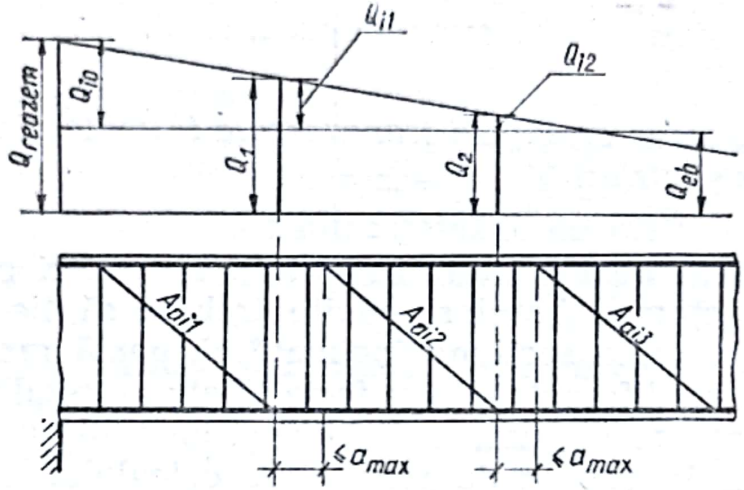


Fig. VI.42.

tru a nu permite apariția fisurilor înclinate între partea cea mai de sus a unei bare și cea mai de jos a barei mai apropiate.

Această distanță nu trebuie să depășească valoarea

$$a_{max} = \frac{0{,}1 b h_0^2 R_i}{Q_{n-1}^{max}} \qquad \text{(VI.159)}$$

în care Q_{n-1}^{max} este forța tăietoare maximă din punctul inferior al porțiunii înclinate a barei precedente.

Valorile maxime ale distanței dintre barele înclinate se găsesc în tabela VI.19.

Începutul barelor înclinate în zona întinsă trebuie să fie situat la o distanță egală cu cel puțin $h_0/2$ față de secțiunea normală pe axa elementului, în care armătura ridicată este integral utilizată la momentul încovoietor.

Capătul din zona comprimată a armăturii ridicate trebuie să depășească secțiunea normală pe axa elementului în care armătura ridicată nu mai este necesară din calculul la moment încovoietor. Normativul P. 8-62 prevede ca distanța de la marginea unui reazem simplu pînă la începutul primei bare înclinate (pornind de la reazem) să fie de cel mult 5 cm.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.20

Forța tăietoare preluată de barele înclinate

$$Q_i = A_{at} R_{at} \sin 45^\circ \quad [kgf]$$

Diametrul barelor mm	OL 38, R_{at} = 1 700 kgf/cm²				TOR 47, R_{at} = 2 200 kgf/cm²				PC 52, R_{at} = 2 300 kgf/cm²				PC 60 și TOR 57, R_{at} = 2 700 kgf/cm²				Diametrul barelor mm
	Numărul de bare				Numărul de bare				Numărul de bare				Numărul de bare				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
8	607	1214	1821	2428	782	1564	2346	3128	818	1636	2454	3272	960	1920	2880	3840	8
10	948	1896	2844	3712	1220	2440	3660	4880	1276	2552	3828	5104	1499	2998	4497	5996	10
12	1364	2728	4092	5456	1757	3514	5271	7028	1837	3674	5511	7348	2157	4314	6471	8628	12
14	1859	3718	5577	7436	2395	4790	7185	9580	2504	5008	7512	10016	2940	5880	8820	11760	14
16	2426	4852	7278	9704	3126	6252	9378	12504	3268	6536	9804	13072	3837	7674	11511	15348	16
18	3066	6132	9198	12264	3950	7900	11850	15800	4130	8260	12390	16520	4849	9698	14547	19396	18
20	3790	7580	11370	15160	4883	9766	14649	19532	5106	10212	15318	20424	5994	11988	17982	23976	20
22	4587	9174	13761	18348					6179	12358	18537	24716	7254	14508	21762	29016	22
25	5926	11852	17778	23701					7950	15900	23850	31800	9340	18680	28020	37360	25
28	7390	14780	22170	29560					10016	20032	30048	40064	11759	23518	35277	47036	28
32	9580	19160	28740	38320					13073	26149	39219	52292	15348	30696	46044	61392	32

Scanned with OKEN Scanner

De asemenea, se prevede ca distanța între barele înclinate, măsurată pe axa longitudinală a grinzii, să fie cel mult egală cu înălțimea h; începînd cu a treia bară înclinată (pornind de la reazem) se poate mări această distanță în așa fel încît dis-

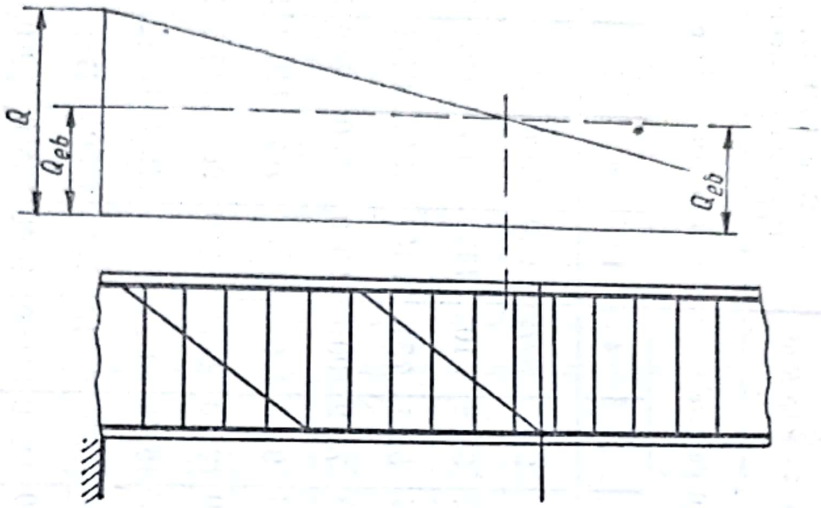


Fig. VI.43.

tanța dintre punctul inferior al unei bare și punctul superior al barei următoare (fig. VI.42) să nu depășească valoarea lui a_{max} determinat pe baza relației (VI.159):

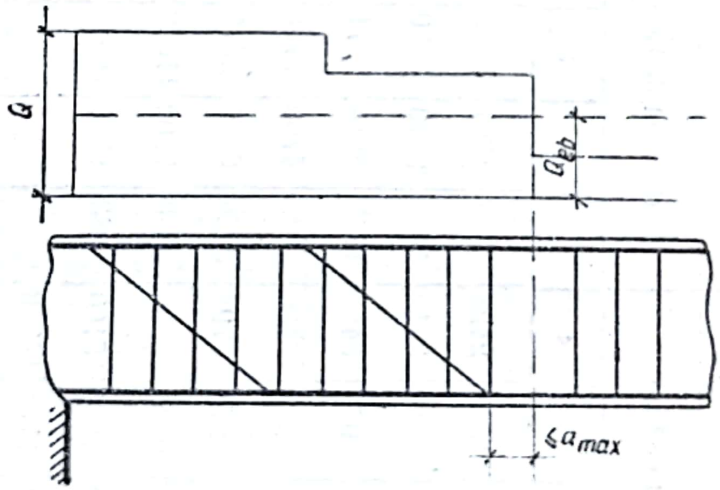


Fig. VI.44.

În afară de aceste prevederi se impune ca punctul inferior al ultimei bare înclinate (pornind de la reazem) să fie amplasat astfel:

— în cazul elementelor acționate de încărcări uniform distribuite, nu mai aproape de reazem decît punctul de intersec-

Scanned with OKEN Scanner

ție dintre diagrama forțelor tăietoare și diagrama de variație a valorii Q_{eb} (fig. VI.43);

— în cazul elementelor acționate de încărcări concentrate, la o distanță maximă de acest punct de intersecție (în direc-

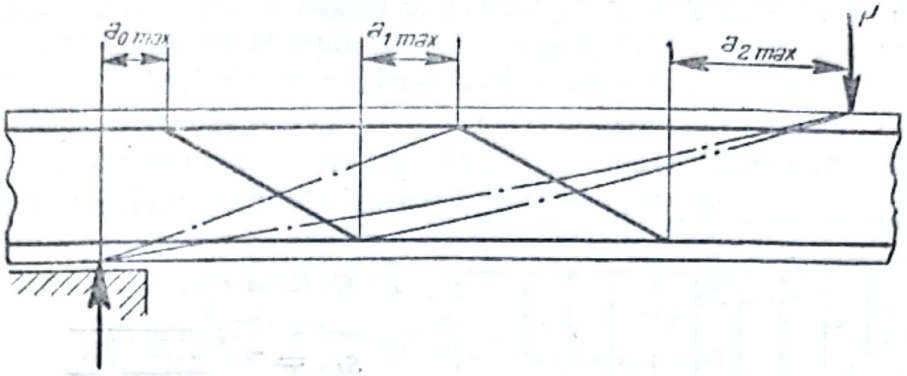


Fig. VI.45.

ția reazemului) egală cu a_{max} determinat pe baza relației (VI.159) (fig. VI.44).

Elementele de construcție fără etrieri (de exemplu plăcile) se calculează la forță tăietoare cu relația generală (VI.154) în care $A_{e,t}=0$. Calculul se face în secțiuni înclinate pornind, în zona întinsă, de la marginea reazemului și de la punctele de îndoire a barelor înclinate și terminîndu-se în zona comprimată, fie în dreptul capetelor porțiunilor înclinate, fie în punctele de aplicație ale forțelor concentrate (fig. VI.45).

Dacă elementul fără etrieri este calculat numai la o singură schemă de încărcare uniform distribuită (presiunea hidrostatică, împingerea pămîntului), cînd încărcările sînt îndreptate de sus în jos și aplicate pe fața superioară sau în sens invers și aplicate pe fața inferioară a elementului, determinarea secțiunii armăturilor înclinate se face cu ajutorul relației

$$A_{ai}=\frac{Q-\sqrt{0{,}6bh_0^2R_tp}}{R_{at}\,\text{s.n}\,\alpha} \qquad \text{(VI.160)}$$

în care p este încărcarea uniform distribuită.

d. *Verificarea capacității portante a elementelor încovoiate la acțiunea forțelor tăietoare*

Verificarea unui element de construcție la acțiunea forțelor tăietoare se reduce în esență la stabilirea relației de calcul (VI.144) în care $Q_b=\frac{0{,}15bh_0^2R_t}{s_t}$ este forța tăietoare preluată

Scanned with OKEN Scanner

de beton în secțiunile dreptunghiulare, T, I sau casetate și s_i lungimea proiecției pe axa elementului a secțiunii înclinate.

La verificarea elementelor de beton armat la acțiunea forțelor tăietoare, o caracteristică importantă o prezintă poziția cea mai defavorabilă a fisurii înclinate care determină capacitatea portantă minimă a elementului.

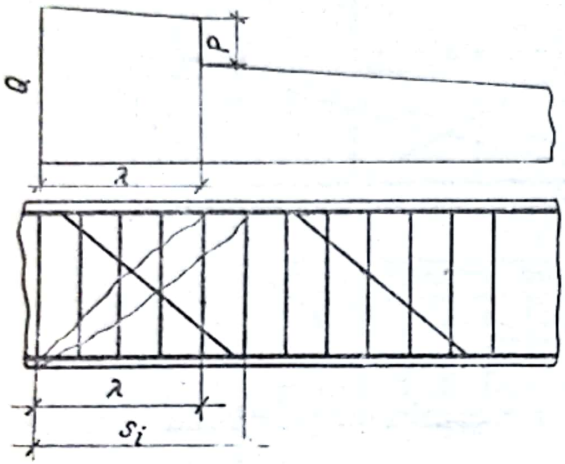


Fig. VI.46.

În acest sens, proiecția pe axa elementului a celei mai defavorabile secțiuni înclinate și care se introduce în calcul este

$$s_{i,0} = \sqrt{\frac{0.15bh_0^2R_t}{q_e}} \qquad \text{(VI.161)}$$

unde

$$q_e = \frac{A_{e,t}R_{at}}{a}.$$

La grinzile armate numai cu etrieri și cu lățimea constantă, se recomandă ca verificarea să se facă la marginea reazemului pentru forța tăietoare maximă și în punctele de schimbare a distanței dintre etrieri tot pentru forța tăietoare maximă din secțiunile indicate în fig. VI.40.

La grinzile încărcate cu forțe concentrate (fig. VI.46) așezate la o distanță λ de fața reazemului și $\lambda < s_i = \sqrt{\frac{0{,}15\,bh_0^2R_t}{q_e}}$ ruperea se poate produce pe o secțiune înclinată care are ca proiecție orizontală distanța λ.

În acest caz, calculul cu relația generală se face introducîndu-se $s_i = \lambda$.

Dacă unica armătură transversală o constituie etrierii, efortul preluat de aceștia pe unitatea de lungime se determină cu relația

$$q_e = \frac{Q_{reazem}}{\lambda} - \frac{0{,}15bh_0^2R_t}{\lambda^2}. \qquad \text{(VI.162)}$$

Se verifică de asemenea relațiile generale (VI.148) și (VI.150) adică

$$q_e = \frac{(Q + A_{e,t}R_{at})^2}{0{,}6bh_0^2R_t} = \frac{(Q_{reazem} - P + R_{at}A_{e,t})^2}{0{,}6bh_0^2R_t} \qquad \text{(VI.163)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Ambele valori determinate mai înainte nu trebuie să fie mai mici decît raportul $\frac{A_{e,t}R_{at}}{a}$.

Verificări similare se fac și în cazul armării cu etrieri și bare înclinate.

Pentru grinzile cu înălțime variabilă, la care momentul încovoietor crește în valoare absolută în același sens cu creșterea înălțimii secțiunii (fig. VI.47), verificarea în secțiunile înclinate se efectuează după cum se arată în continuare:

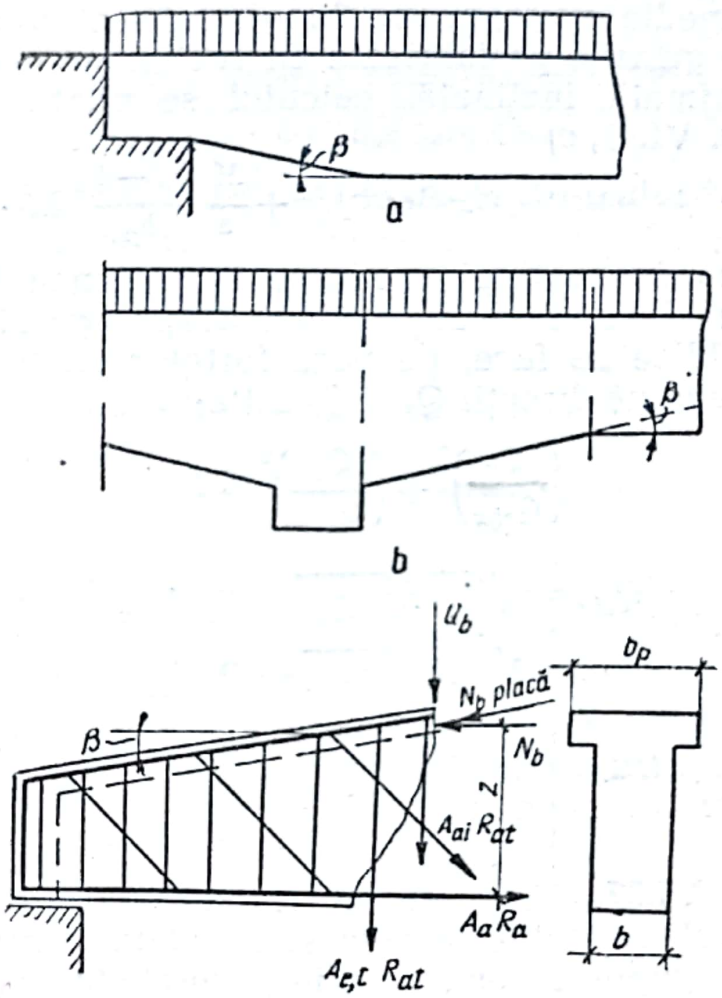


Fig. VI.47.

— dacă zona comprimată este orizontală iar cea întinsă înclinată, atunci rezistența secțiunii înclinate la acțiunea forțelor tăietoare se exprimă cu condiția (v. fig. VI.47, *a*)

$$Q \leqslant \Sigma R_{at} A_{at} \sin\alpha + \Sigma A_{e,t} R_{at} + Q_b + \frac{M \operatorname{tg} \beta}{z} \qquad \text{(VI.164)}$$

în care: Q_b este determinat prin relația (VI.145) pentru înălțimea minimă a grinzii pe lungimea secțiunii înclinate;

Scanned with OKEN Scanner

β este unghiul laturii înclinate a grinzii față de orizontală;

M — momentul interior al eforturilor în secțiunea care trece prin capătul porțiunii înclinate din zona comprimată;

z — brațul cuplului interior în aceeași secțiune;

— dacă grinzile au latura întinsă orizontală și latura comprimată înclinată, calculul se efectuează pe baza relației (VI.144) (v. fig. VI.47, *b*) în care Q_b se determină pentru înălțimea utilă medie a grinzii pe lungimea secțiunii înclinate;

— pentru grinzile prefabricate cu secțiunea T sau I având latura comprimată înclinată, calculul se poate efectua cu relația (v. fig. VI.47, *c*)

$$Q \leqslant \Sigma R_{at} A_{at} \sin \alpha + \Sigma R_{at} A_{e,t} + Q_b + \frac{M}{z} \frac{b_p - b}{b_p} \operatorname{tg} \beta . \qquad \text{(VI.165)}$$

Verificarea în secțiuni înclinate la acțiunea forței tăietoare, pentru elementele cu secțiuni dreptunghiulare supuse încovoierii oblice se face, pe baza forțelor tăietoare componente, pe cele două direcții Q_x și Q_y astfel:

$$\left(\frac{Q_x}{Q_{ebx}}\right)^2 + \left(\frac{Q_y}{Q_{eby}}\right)^2 \leqslant 1 \qquad \text{(VI.166)}$$

unde

$$Q_{ebx} = \sqrt{0{,}6 b h_0^2 R_i q_{ex}} - R_{at} A_{e,tx} \qquad \text{(VI.167)}$$

$$Q_{eby} = \sqrt{0{,}6 b h_0^2 R_i q_{ey}} - R_{at} A_{e,ty}. \qquad \text{(VI.168)}$$

e. *Exemple pentru dimensionarea armăturilor transversale*

Exemplul VI.27. Să se calculeze barele transversale normale pe axa elementului, la carcasele sudate, pentru o grindă prefabricată simplu rezemată având deschiderea de calcul egală cu 5,0 m, dimensiunile secțiunii $b=20$ și $h=50$ cm, $h_0=46{,}5$ cm și încărcarea totală de calcul uniform distribuită $q=3\,200$ kgf/m. Grinda se execută cu carcase sudate din OL 38 și beton de marcă B 150.

$$Q_{max} = \frac{ql}{2} = \frac{3\,200 \times 5.00}{2} = 8\,000 \text{ kgf}.$$

Se verifică condiția (VI.146)

$$Q \leqslant b\, h_0\, R_t$$

$$\frac{Q}{bh_0} = \frac{8\,000}{20 \times 46{,}5} = 8{,}6 > 5{,}0 \text{ kgf/cm}^2 = R_t.$$

Scanned with OKEN Scanner

De asemenea trebuie verificată condiția (VI.147)

$$\frac{Q}{bh_0} = 8{,}6 \leqslant 4\ R_t = 20\ \text{kgf/cm}^2.$$

Rezultă că armăturile transversale sînt necesare din calcul iar dimensiunile secțiunii de beton sînt bine alese.

Se aleg bare transversale cu diametrul de 6 mm și se așază cîte două ramuri într-un plan.

Astfel:

$$A_{e,t} = 2 \times 0{,}283 = 0{,}566$$

$$q_e = \frac{(Q + R_{at} A_{e,t})^2}{0{,}6bh_0^2 R_t} = \frac{(8\,000 + 1\,700 \times 0{,}566)^2}{0{,}6 \times 20 \times 46{,}5^2 \times 80} = 38{,}7\ \text{kgf/cm},$$

apoi cu relația (VI.151) se determină distanțele de calcul dintre barele transversale

$$a = \frac{R_{at} A_{e,t}}{q_e} = \frac{1\,700 \times 0{,}566}{38{,}7} = 25\ \text{cm}.$$

Distanța maximă între barele transversale rezultă

$$a_{max} = \frac{0{,}1 \times 20 \times 46{,}5^2 \times 80}{8\,000} = 43{,}2\ \text{cm}.$$

Conform normativului P. 8-62 distanța maximă dintre etrieri nu trebuie să depășească 30 cm și nici $h/3$ pentru $^1/_4$ din deschidere, începînd de la reazeme.

În acest fel $\frac{h}{3} = \frac{50}{3} = 16{,}7$ cm și se ia prin rotunjire $a = 15$ cm.

Se verifică capacitatea portantă a elementului

$$q_e = \frac{A_{e,t} R_{at}}{a} = \frac{0.566 \times 1\,700}{15} = \frac{962}{15} = 64\ \text{kgf/m}$$

$$Q_{eb} = \sqrt{0{,}6 \times 20 \times 46{,}5^2 \times 80 \times 64} - 962 = 11\,570 - 962 = 10\,608\ \text{kgf} > Q$$

Exemplul VI.28. Să se calculeze din exemplul precedent armătura transversală sub formă de bare înclinate la 45°, la distanță egală, alcătuind două carcase sudate. Cunoscînd că se folosesc bare OL 38 avînd ∅ 6 mm așezate la 15 cm.

$A_{e,t} = 2 \times 0{,}283 = 0{,}566$ cm² (pentru 2 ramuri).

$$q_{ei} = \frac{A_{e,t} R_{at}}{a\sqrt{2}} = \frac{0{,}566 \times 1\,700}{15 \times 1{,}41} = 46{,}5\ \text{kgf/cm}.$$

Se verifică relația de bază (VI.156)

$$Q_{eb} = \sqrt{0{,}6bh_0^2 q_{et} R_t} + q_{et} h_0 - \frac{A_{e \cdot t} R_{at}}{\sqrt{2}} =$$

$$= \sqrt{0{,}6 \times 20 \times 46{,}5^2 \times 46{,}5 \times 80} + 46{,}5 \times 46{,}5 - \frac{0{,}566 \times 1\,700}{1{,}41} =$$

$$9\,800 + 2\,160 - 681 = 11\,271 \text{ kgf} > Q = 8\,000 \text{ kgf}.$$

Pentru aceeași capacitate portantă ca în exemplul precedent $Q_{eb} = 10\,608$ kgf se determină $q_{et} = 43{,}8$ kgf/cm.

Distanța dintre barele înclinate va fi:

$$a = \frac{0{,}566 \times 1\,700}{43{,}8 \times 1{,}41} = \frac{681}{43{,}8} = 15{,}6 \text{ cm} < \frac{h}{3}.$$

Rezultă că lungimea barelor înclinate la 45° este de $\frac{15}{15{,}6} \times$ $\times 1{,}41 = 1{,}36$ ori mai mare decît în cazul etrierilor perpendiculari pe axa elementului pentru aceeași capacitate portantă.

Exemplul VI.29. Să se verifice acțiunea forțelor tăietoare în secțiunile înclinate ale unei plăci armate pe o singură direcție avînd 10 deschideri egale. Deschiderea de calcul este de 2,2 m, grosimea plăcii $h_p = 8$ cm, $h_0 = 6{,}5$ cm. Placa se execută din beton de marcă B 150 cu $R_t = 5$ kgf/cm² și încărcarea de calcul este de 750 kgf/m.

Forța tăietoare maximă este egală cu

$$Q_{max} = 0{,}6\, ql_0 = 0{,}6 \times 750 \times 2{,}2 = 990 \text{ kgf}.$$

Se verifică condiția (VI.146)

$$\frac{Q}{bh_0} = \frac{990}{100 \times 6{,}5} = 1{,}52 \text{ kgf/cm}^2 < 5{,}0 \text{ kgf/cm}^2.$$

Deci nu este necesară ridicarea de bare înclinate, armarea făcîndu-se cu plase plane sudate sau legate.

Exemplul VI.30. Să se determine capacitatea portantă la acțiunea forței tăietoare pentru o grindă de beton armat avînd etrieri cu 2 ramuri ∅ 6 mm din OL 38, așezați la 15 cm distanță. Dimensiunile grinzii sînt $b = 20$ cm și $h_0 = 37$ cm.

Grinda este executată din beton de marcă B 200 ($R_t = 6{,}5$ kgf/cm² și $R_i = 100$ kgf/cm²).

Scanned with OKEN Scanner

Se determină efortul preluat de etrieri pe unitatea de lungime

$$q_e = \frac{R_{at} A_{e,t}}{a} = \frac{1\,700 \times 2 \times 0{,}283}{15} = 64{,}1 \text{ kgf/cm}$$

$$Q = Q_{eb} = \sqrt{0{,}6\, b\, h_0^2\, R_t\, q_e} - A_{e,t}\, R_{at} =$$

$$= \sqrt{0{,}6 \times 20 \times 37^2 \times 100 \times 64{,}1} - 2 \times 0{,}283 \times 1\,700 =$$

$$= 10\,550 - 962 = 9\,588 \text{ kgf.}$$

Exemplul VI.31. Să se verifice la acțiunea forței tăietoare fîșia prefabricată cu goluri avînd deschiderea de calcul $l = 4{,}85$ m și încărcarea totală de calcul $q = 550$ kgf/m. Fîșia se execută din beton marcă B 250.

Forța tăietoare maximă este

$$Q = \frac{ql}{2} = \frac{550 \times 4{,}85}{2} = 1\,330 \text{ kgf.}$$

Prin asimilarea secțiunii fîșiei cu o secțiune I avînd o grosime a inimii de 11 cm, se verifică condiția

$$\frac{Q}{bh_0} = \frac{1\,330}{11 \times 20} = 6{,}1 \text{ kgf/cm}^2 < R_t = 7{,}5 \text{ kgf/cm}^2.$$

Rezultă că nu sînt necesari din calcul etrieri sau bare înclinate.

Se apreciază că g_1, încărcarea permanentă totală uniform distribuită din care se scade jumătate din greutatea proprie a elementului, este

$$g_1 = 190 \text{ kgf/m} = 1{,}90 \text{ kgf/cm.}$$

Se verifică condiția

$$Q \leqslant \sqrt{0{,}6\, b\, h_0^2\, R_t\, g_1} = \sqrt{0{,}6 \times 11 \times 20^2 \times 120 \times 1{,}9} =$$

$$= 780 \text{ kgf} < Q = 1\,330 \text{ kgf.}$$

Se prevăd în sferturile de deschidere dinspre reazeme agrafe la distanță de 15 cm între plasa superioară și inferioară de armătură.

Exemplul VI.32. Să se determine distanța dintre etrieri la o grindă de beton armat cu secțiune dreptunghiulară $b = 20$ cm și $h_0 = 46$ cm, încărcată cu două forțe concentrate simetrice, provenite din încărcările de calcul, de cîte 5,0 tf,

Scanned with OKEN Scanner

așezate la distanța de 50 cm de reazeme și cu o încărcare uniform distribuită $q=3$ tf/m. Grinda are o deschidere de calcul $l=6{,}2$ m și se execută cu etrieri ∅ 8 mm din OL 38 și cu beton de marcă B 200.

Pe baza încărcărilor de calcul forța tăietoare lîngă reazem va fi

$$Q_{reazem}=5+3{,}1\times 3=14{,}3 \text{ tf.}$$

Se consideră că proiecția fisurii înclinate are o valoare egală cu distanța dintre sarcina concentrată și reazem adică

$$s_i=\lambda=0{,}5 \text{ m.}$$

Aplicînd relația (VI.162) se obține

$$q_e=\frac{Q_{reazem}}{\lambda}-\frac{0{,}15bh_0^2R_i}{\lambda^2}=\frac{14\,300}{50}-\frac{0{,}15\times 20\times 46^2\times 100}{2\,500}=$$

$$=33 \text{ kgf/cm}$$

și verificînd prin relația (VI.163)

$$q_e=\frac{(Q+A_{e,t}R_{at})^2}{0{,}6bh_0^2R_i}=\frac{(Q_{reazem}-P+A_{e,t}R_{at})^2}{0{,}6bh_0^2R_i}=$$

$$=\frac{(14\,300-5\,000+1\,760)^2}{0{,}6\times 20\times 2\,110\times 100}=\frac{11\,000^2}{2\,530\,000}=47{,}7 \text{ kgf/cm.}$$

Comparînd cele două valori se observă că fisura înclinată nu se poate forma pe distanța dintre reazem și forța concentrată și va avea o proiecție egală cu s_i.

Distanța necesară dintre etrierii cu 2 ramuri ∅ 8 mm se determină cu relația (VI.151).

$$a=\frac{A_{e,t}R_{at}}{q_e}=\frac{1\,700}{47{,}7}=35{,}5 \text{ cm}$$

iar

$$a_{max}=\frac{0{,}1b_0'^2R_t}{Q}=\frac{0{,}1\times 20\times 46^2\times 100}{14\,300}=29{,}4 \text{ cm.}$$

Deoarece lipsesc armăturile înclinate pe porțiunea dintre reazem și forța concentrată, distanța dintre etrieri trebuie să îndeplinească condiția $a\leqslant\frac{h}{3}=16{,}6$ cm.

Se ia $a=15$ cm pe porțiunea amintită, iar în partea centrală a grinzii distanța poate fi sporită la 25 cm pentru a satisface condiția (VI.153).

Exemplul VI.33. Să se determine secțiunea armăturilor înclinate pentru un element încovoiat, cunoscînd diagrama de

Scanned with OKEN Scanner

forțe tăietoare (fig. VI.48) precum și $b=25$, $h_0=55$ cm, beton de marcă B 200, armătura PC 52; etrierii ∅ 8 mm cu două ramuri din OL 38 se amplasează la distanța de 15 cm.

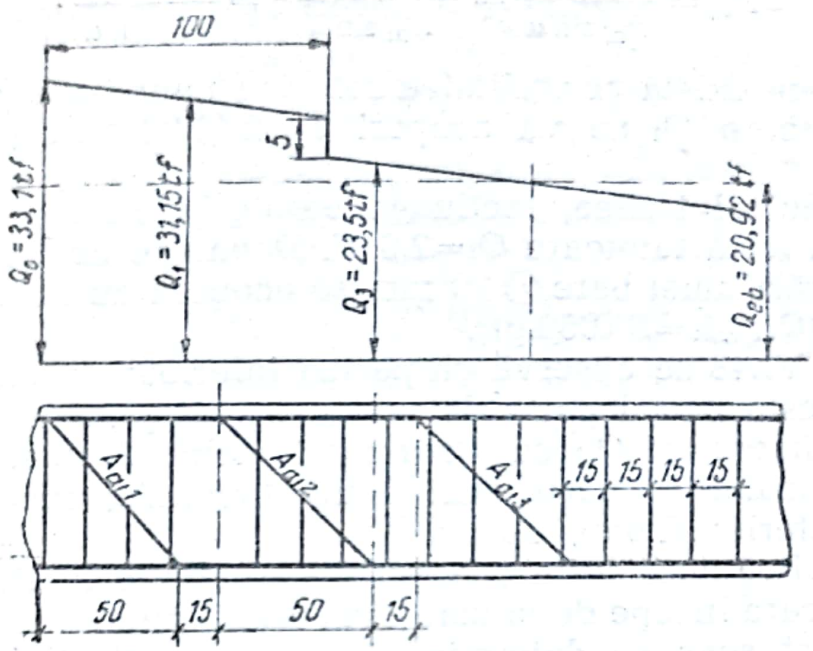


Fig. VI.48.

Cunoscînd secțiunea și distanța dintre etrieri se determină efortul preluat de aceștia pe unitatea de lungime:

$$q_e=\frac{A_{e,t}R_{at}}{a}=\frac{1\times 1\,700}{15}=113{,}0\ \text{kgf/cm}.$$

Forța tăietoare preluată de beton și etrieri Q_{eb} se determină cu ajutorul relației (VI.148).

$$Q_{eb}=\sqrt{0{,}6\,b\,l_0^2\,R_i\,q_e}-A_{e,t}\,R_{at}=\sqrt{0{,}6\times 25\times 55^2\times 100\times 113}-$$

$$-1\,700=22\,620-1\,700=20\,920\ \text{kgf}.$$

Ordonata $Q_{eb}=20\,920$ kgf este indicată pe diagrama de forțe tăietoare punctat (v. fig. VI.48).

Secțiunea barelor înclinate din primul plan se calculează pe baza forței tăietoare maxime de la marginea reazemului cu ajutorul relației (VI.158).

$$\Sigma A_{at}=\frac{Q_0-Q_{eb}}{R_{at}\sin\alpha}=\frac{Q_i}{R_{at}\sin\alpha}=\frac{33{,}1-20{,}9}{R_{at}\sin\alpha}=\frac{12{,}2}{R_{at}\sin\alpha}.$$

Folosind tabela VI.20, pentru o valoare apropiată de $Q_i=12{,}2$ tf corespund 2 ∅ 22 mm, $A_{ai}=7{,}60$ cm².

Scanned with OKEN Scanner

Secțiunea armăturilor înclinate din planul al doilea se calculează pe baza forței tăietoare din secțiunea care trece prin partea inferioară a primei bare înclinate

$$\Sigma A_{ai} = \frac{Q_1 - Q_{eb}}{R_{at} \sin \alpha} = \frac{31{,}15 - 20{,}9}{R_{at} \sin \alpha} = \frac{10{,}25}{R_{at} \sin \alpha}.$$

Deoarece există posibilitatea folosirii unor bare ∅ 20 mm, forța tăietoare Q_t se va acoperi cu 2 ∅ 20 mm (v. tabela VI.20).

În planul al treilea, secțiunea barelor înclinate se calculează la o forță tăietoare $Q_t = 2{,}6$ tf. Deoarece există posibilitatea ridicării unei bare ∅ 20 mm se acoperă cu aceasta forța tăietoare ($Q_{t\ efectiv} = 5\ 106$ kgf).

În fig. VI.48 se observă că partea inferioară a barei înclinate A_{ai3} este mai departe de reazem decît punctul de intersecție al diagramei Q_{eb} cu diagrama forțelor tăietoare, evitîndu-se pericolul formării unei fisuri înclinate, începînd din punctul inferior al barei A_{ai3}.

Se verifică dacă forța concentrată se află la limitele fisurii înclinate care începe de la marginea reazemului.

În acest sens se determină lungimea proiecției secțiunii înclinate și cu ajutorul relației

$$s_t = \sqrt{\frac{0{,}15 b h_0^2 R_t}{q_e}} = \sqrt{\frac{0{,}15 \times 25 \times 55^2 \times 100}{113}} = 78 \text{ cm}.$$

Deoarece $s_t < 100$ cm, fisura se va forma între forța concentrată și reazem, de aceea calculul barelor din primul plan este corect.

2. Verificarea capacității portante în secțiuni înclinate la acțiunea momentelor încovoietoare

a. *Relații de calcul*

Calculul în secțiuni înclinate la moment încovoietor nu este necesar la grinzile cu înălțime constantă sau cu înălțimea continuu variabilă (cu vute) dacă se iau măsuri care să garanteze că fisurile înclinate nu se deschid exagerat și armătura nu intră în curgere, ținînd seamă de prevederile cuprinse în acest punct.

La elementele încovoiate, ancorarea armăturii longitudinale pe reazemele libere se va asigura prin prelungirea aces-

Scanned with OKEN Scanner

tora dincolo de marginea interioară a reazemului cu următoarele lungimi minime de ancorare

$$l_a \geqslant 10\,d \quad \text{cînd} \quad Q \leqslant b\,h_0\,R_t;$$

$$l_a \geqslant 15\,d \quad \text{cînd} \quad Q > b\,h_0\,R_t.$$

Lungimile de ancorare pot fi reduse cu 5 d dacă se folosesc plase sau carcase sudate.

Plasele sau carcasele sudate executate din oțel rotund (neted) vor avea o bară transversală sudată de fiecare bară

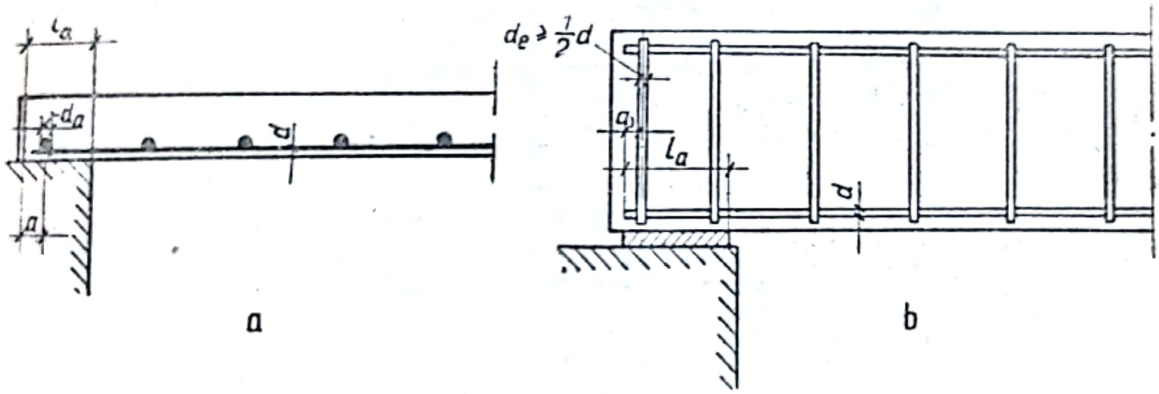


Fig. VI.49.

longitudinală, amplasată la o distanță maximă de capătul carcasei sau plasei astfel (fig. VI.49)

$$a \leqslant 15 \text{ mm pentru } d \leqslant 10 \text{ mm respectiv}$$

$$a \leqslant 1{,}5\,d \text{ pentru } d > 10 \text{ mm.}$$

Pentru elementele la care $Q > b\,h_0\,R_t$, trebuie să mai fie sudată pe lungimea l_a cel puțin încă o bară transversală.

Diametrul barelor transversale va fi cel puțin jumătate din diametrul maxim al barelor longitudinale.

Se recomandă ca sudarea barelor transversale să se facă cu sudură electrică prin puncte; în cazul sudurii cu arc electric trebuie să se acorde o atenție deosebită pentru obținerea calității corespunzătoare.

Se recomandă ca ancorarea barelor de armătură, întrerupte în deschidere, să se facă numai în zonele comprimate ale betonului. Barele din oțel cu profil periodic, barele netede cu ciocuri, precum și cele folosite în plase și carcase sudate, vor fi prelungite, peste secțiunea normală în care nu mai sînt necesare în calcul, cu cel puțin 15 d; barele netede fără

Scanned with OKEN Scanner

ciocuri, folosite în plase sau carcase legate cu sîrmă, vor fi prelungite peste aceeași secțiune cu 20 d.

Se permite ancorarea în zonele de beton în care pot apare și eforturi unitare de întindere a armăturilor trecute peste reazemele grinzilor continue (fig. VI.50, a).

De asemenea se permite întreruperea în deschidere a barelor întinse care fac parte din plase sau carcase sudate (fig.

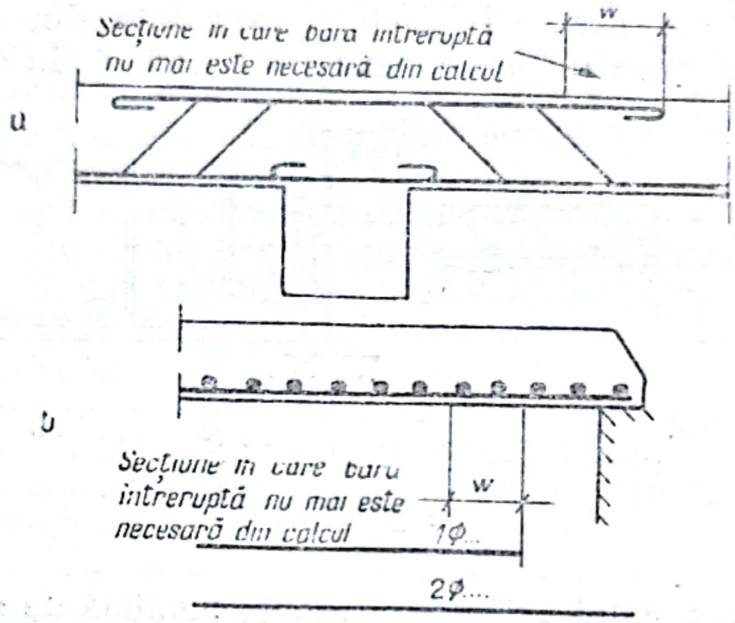


Fig. VI.50.

VI.50, b). Lungimea de ancorare a acestor bare peste secțiunea normală în care ele nu mai sînt necesare din calcul va fi de cel puțin 20 d și cel puțin lungimea w determinată după cum urmează:

— pentru elementele cu secțiunea constantă

$$w = \frac{Q - Q_i}{2q_e} + 5d; \qquad \text{(VI.169)}$$

— pentru grinzile cu înălțimea variabilă avînd latura întinsă înclinată și cea comprimată orizontală

$$w = \frac{Q - Q_i - A_a R_a \sin\alpha}{2q_e} + 5d; \qquad \text{(VI.170)}$$

— pentru grinzi cu înălțimea variabilă avînd latura întinsă orizontală și latura comprimată înclinată

$$w = \frac{Q - Q_i - A_a R_a \operatorname{tg}\beta}{2q_e} + 5d. \qquad \text{(VI.171)}$$

Scanned with OKEN Scanner

În relațiile anterioare

Q este forța tăietoare de calcul în secțiunea verticală care trece prin punctul teoretic de întrerupere a armăturii (de unde bara nu mai este necesară din calculul la moment încovoietor);

Q_i — forța tăietoare preluată de armăturile ridicate în secțiunea verticală care trece prin punctul teoretic de întrerupere a armăturii;

d — diametrul armăturii întrerupte;

$$\overline{q_e} = \frac{A_{e,t} R_a}{a}.$$

Pentru cazul cînd trebuie luată în considerație și încărcarea aplicată pe lungimea grinzii, în loc de $2q_e$ se introduce valoarea $2q_e + p$.

Cînd în zona de întrerupere a armăturii lipsesc barele înclinate, în relațiile (VI.169), (VI.170), (VI.171) se introduce $Q_i = 0$.

Satisfacerea condițiilor de rezistență în orice secțiune înclinată este asigurată dacă bara începe să fie ridicată (să părăsească zona întinsă) nu mai aproape de $h_0/2$ de zona unde aceasta se folosește în întregime în secțiunea normală.

De asemenea, ajungerea acestei bare în zona comprimată, nu trebuie să se facă mai înainte de secțiunea în care bara este necesară din calcul.

Verificarea capacității portante în secțiuni înclinate la moment încovoietor se face cu relația (VI.143)

$$M \leqslant A_a R_a z + \Sigma A_{ai} R_a z_i + \Sigma A_{e,t} R_a z_e.$$

În această relație, pentru armături sînt introduse rezistențele de calcul R_a și nu R_{at} așa cum se observă în relația (VI.144).

Această deosebire se datorește faptului că armăturile transversale situate spre capătul dinspre zona comprimată a fisurii au o contribuție mică la momentul capabil al secțiunii, din cauza valorii reduse a brațului de pîrghie.

În relația (VI.143) poziția axei neutre se determină ca pentru o secțiune normală pe axa elementului, situată la extremitatea din zona comprimată a secțiunii înclinate.

Pentru a stabili direcția cea mai defavorabilă a secțiunii înclinate, în relația anterioară se poate utiliza relația

$$Q_0 = \Sigma A_{ai} R_a \sin \alpha + \Sigma A_{e,t} R_a \qquad \text{(VI.172)}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: Q_0 este forța tăietoare de calcul la marginea secțiunii înclinate din zona comprimată;

α — unghiul de înclinare a barelor ridicate față de axa elementului.

Stabilirea direcției secțiunii înclinate se face prin încercări ținînd seama de faptul că însumarea eforturilor din membrul al doilea al relației (VI.172) se face pe lungimea fisurii înclinate s_i.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul VI.34. Să se determine lungimea de ancorare în raport cu punctul teoretic de întrerupere pentru armăturile trecute peste reazem din fig. VI.51 cunoscînd diametrul tuturor barelor pe reazem $d=20$ mm, distanța dintre etrieri $a=20$ cm, $d_{etr}=8$ mm.

Armătura longitudinală și etrierii se confecționează din OL 38.

Se determină $\overline{q_e} = \frac{A_{e,t}R_a}{a} = \frac{1\times 2\,100}{20} = 105$ kgf/cm.

Pentru o bară cu diametru $d=20$ mm, valoarea $Q_i = 3\,790$ kgf (v. tabela VI.20).

$$w = \frac{Q-Q_i}{2\overline{q_e}} + 5d = \frac{22\,500-3\,790}{210} + 5\times 2 = \frac{18\,710}{210} + 5\times 2 = 99 \text{ cm}.$$

Deoarece punctele teoretice de întrerupere pentru celelalte două bare sînt situate în dreptul aceleași bare ridicate cu diametrul $d=20$ mm, lungimile de ancorare pentru acestea sînt $w=100$ cm.

În ipoteza cînd s-ar fi adoptat soluția ancorării barei amintite în zona inferioară prin coborîre (linia punctată), secțiunea în care aceasta poate fi îndoită trebuie să se situeze la o distanță de cel puțin $h_0/2$ de punctul unde această bară este folosită în întregime.

Considerînd că în zona unde bara se ancorează apar eforturi de întindere, porțiunea rectilinie de ancoraj trebuie să fie de minimum $20\,d=40$ cm.

Scanned with OKEN Scanner

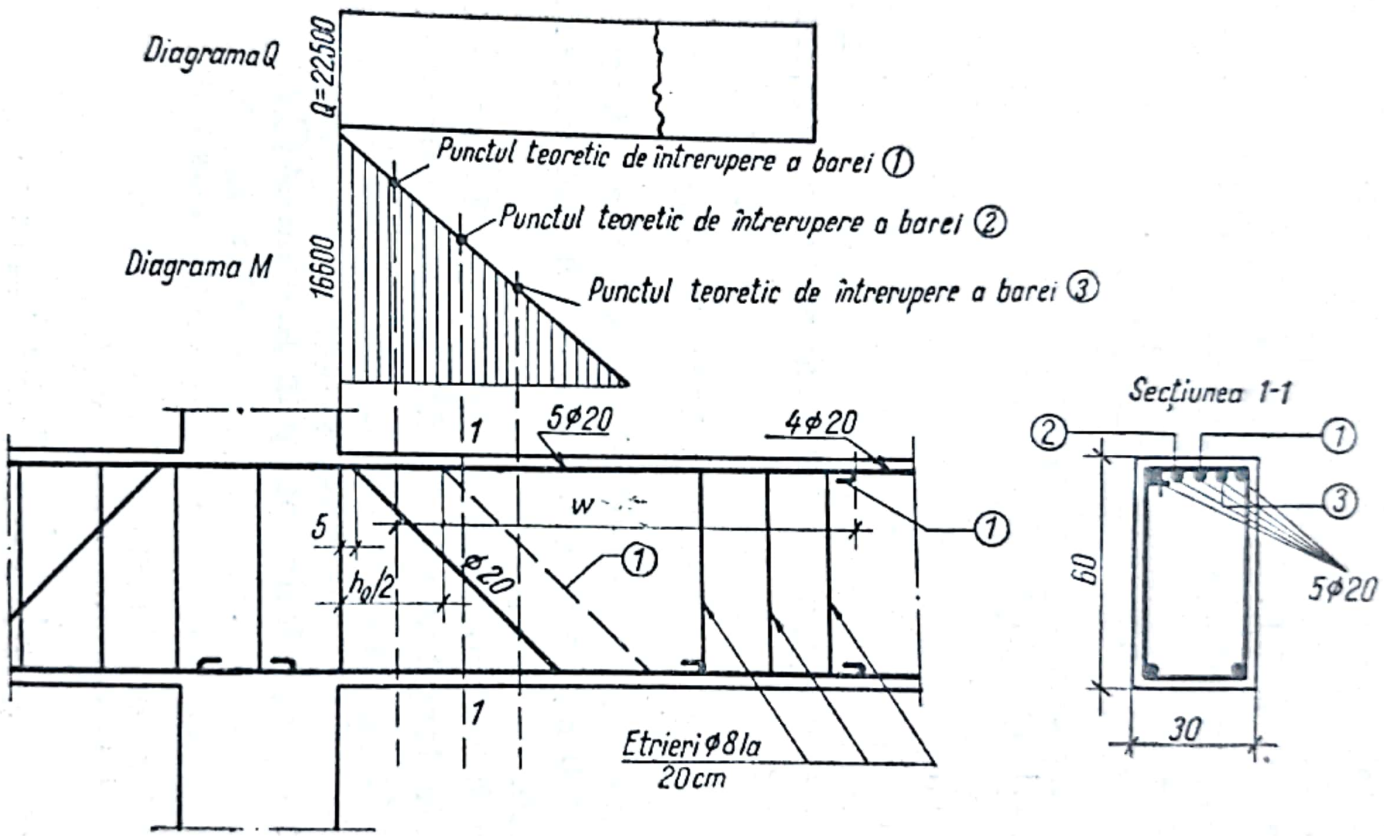


Diagrama Q
Q=22500
Punctul teoretic de întrerupere a barei ①
Punctul teoretic de întrerupere a barei ②
Diagrama M
16600
Punctul teoretic de întrerupere a barei ③
1
5φ20
4φ20
w
5
h₀/2
φ20
①
1
Etrieri φ8 la 20cm
Secțiunea 1-1
②
①
③
60
5φ20
30

Fig. VI.51.

În acest caz lungimea barei crește cu circa 30 cm în raport cu prima variantă.

Exemplul VI.35. Să se determine locul de întrerupere a armăturilor longitudinale din carcasele sudate (fig. VI.52) cu-

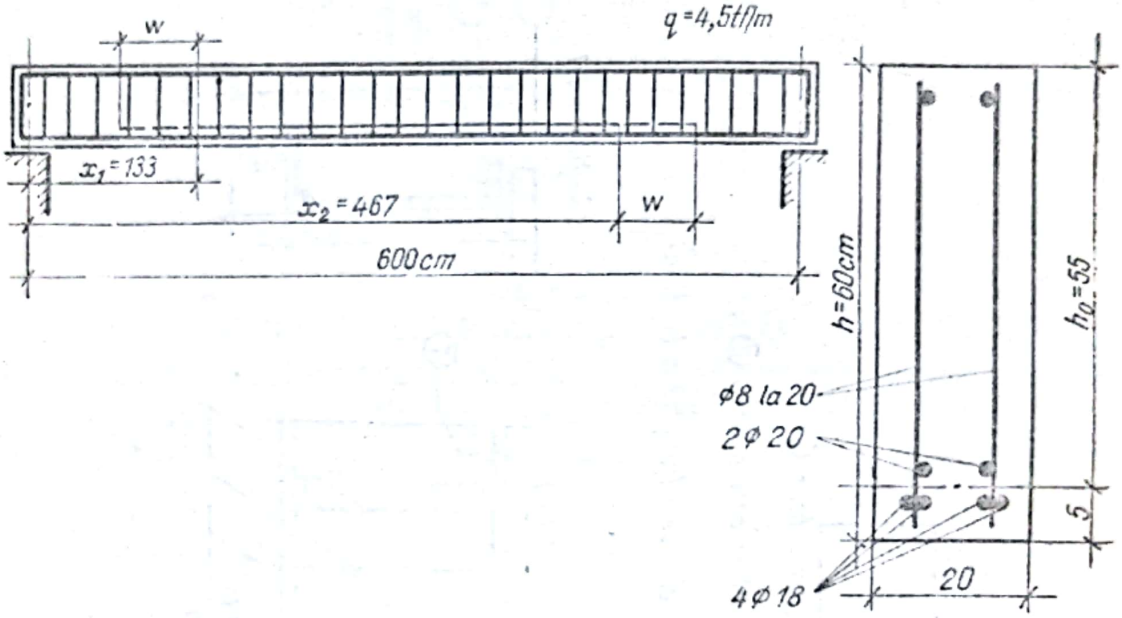


Fig. VI.52.

noscînd încărcarea de calcul, $q=4{,}5$ tf/m, deschiderea de calcul $l_0=6{,}0$ m, $h=60$ cm, $b=20$ cm, $h_0=55$ cm; se folosește beton B 200.

Pentru barele transversale sudate se folosește OL 38 iar pentru cele longitudinale PC 52. Sudarea carcaselor se face prin puncte.

Considerînd că se întrerup cele două bare din rîndul al doilea $2\varnothing 20$ mm, rămîn pe primul rînd $4\varnothing 18$ mm, $A_a=10{,}17$ cm^2.

Se calculează capacitatea portantă a secțiunii după întreruperea celor două bare.

Înălțimea zonei comprimate va fi:

$$x=\frac{A_a R_a}{R_i b}=\frac{10{,}17\times 2\,900}{100\times 20}=15{,}5 \text{ cm}.$$

Momentul capabil al secțiunii are valoarea

$$M=R_a A_a (h_0-0{,}5\,x)=$$

$$=2\,900\times 10{,}17\,(55-0{,}5\times 15{,}5)=1\,396\,000 \text{ kgfcm}.$$

Punctul teoretic de întrerupere se determină cu ajutorul relației

$$M=0{,}5\ qlx-0{,}5qx^2\ (q=4{,}5\ \text{tf/m}).$$

$$13{,}96=0{,}5\times4{,}5\times6\ x-0{,}5\times4{,}5\ x^2.$$

Se obține

$$x_1=1{,}33\ \text{m};$$

$$x_2=4{,}67\ \text{m}.$$

$$\overline{q_e}=\frac{1\times2\,100}{20}=105\ \text{kgf/cm}.$$

Lungimea de ancorare a barelor întrerupte se determină pe baza adaptării relației (VI.169) la condițiile elementului proiectat ($Q_i=0$)

$$w=\frac{Q}{2\overline{q_e}}+5d.$$

În punctul teoretic de întrerupere forța tăietoare are valoarea

$$Q=Q_{max}\left(1-\frac{2}{l}x_1\right)=\frac{4{,}5\times6}{2}\left(1-\frac{2}{6}\,1{,}33\right)=13{,}5\times0{,}557=7{,}52\ \text{tf}$$

$$w=\frac{7\,520}{2\times105}+5\times2{,}0=35{,}8+10=45{,}8\ \text{cm}.$$

În raport cu $20\,d=40$ cm, distanța determinată din calcul este mai mare. Se adoptă $w=46$ cm.

Exemplul VI.36. Să se traseze diagrama capacității portante pentru grinda din fig. VI.53 cunoscînd $b=30$ cm, $h=60$ cm, $q=5\,200$ kgf/m deschiderea de calcul $l_0=5{,}00$ m.

Armătura OL 38, $6\varnothing20$ mm, $A_a=18{,}85$ cm^2; se folosește beton marca B 200.

Valoarea momentului maxim de calcul

$$M=\frac{ql^2}{8}=\frac{5\,200\times25}{8}=16\,350\ \text{kgfm}.$$

Capacitatea portantă a grinzii $M_r=16\,650$ kgfm.

Aportul fiecărei bare este delimitat în fig. VI.53.

Forța tăietoare maximă $Q=\frac{ql}{2}=13\,000$ kgf (pe axa reazemului).

Scanned with OKEN Scanner

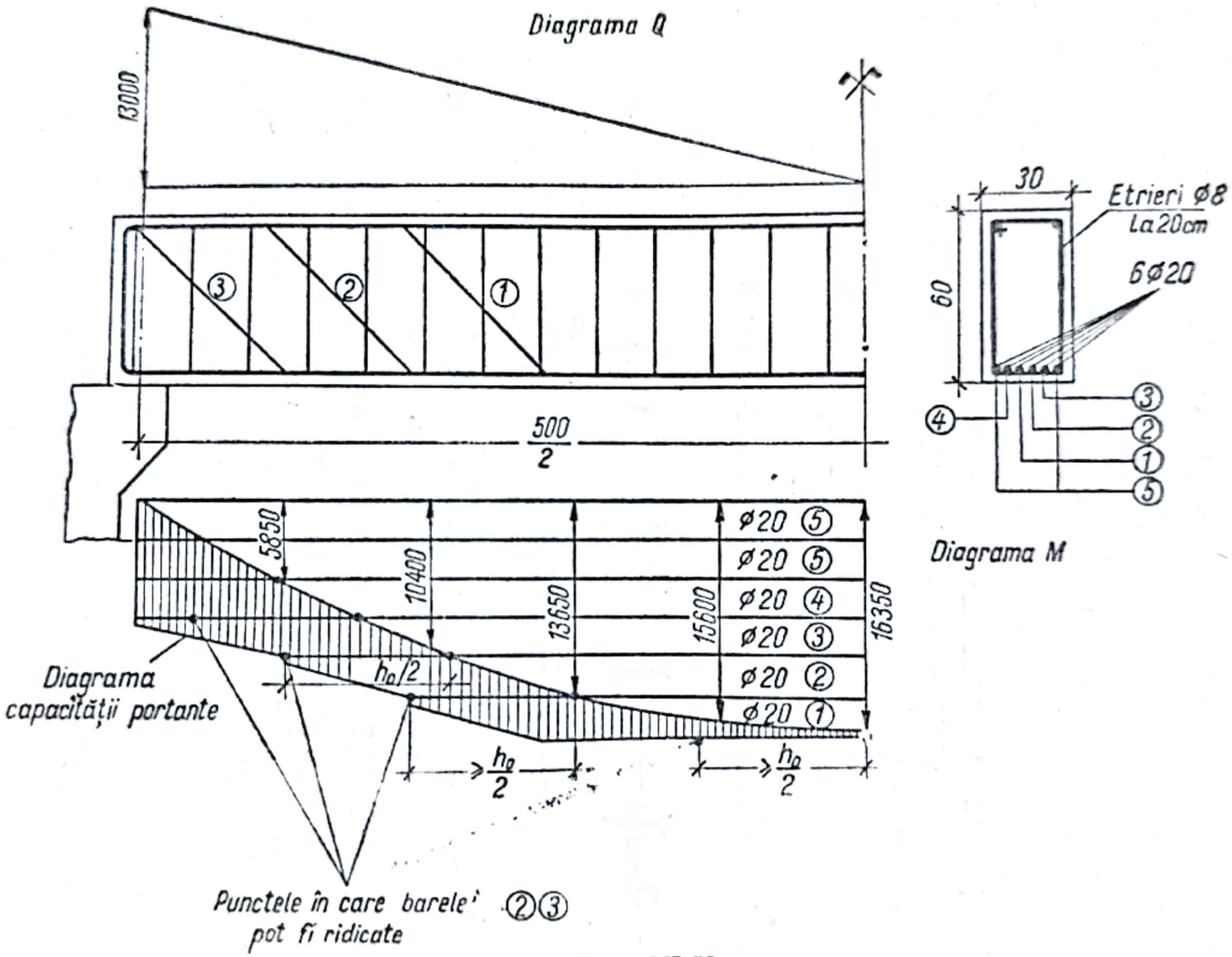


Diagrama Q
13000
③
②
①
500/2
5850
10400
13650
15600
16350
ø20 ⑤
ø20 ⑤
ø20 ④
ø20 ③
ø20 ②
ø20 ①
h₀/2
h₀/2
h₀/2
Diagrama capacității portante
Punctele în care barele ②③ pot fi ridicate
30
Etrieri ø8 La 20cm
6ø20
60
④
③
②
①
⑤
Diagrama M

Fig. VI.53.

Folosindu-se etrieri cu două ramuri ($d_{etr}=8$ mm), amplasaţi la distanţa de 20 cm, efortul preluat de aceştia pe unitatea de lungime este

$$q_e=\frac{A_{e,t}R_{at}}{a}=\frac{1\times 1\,700}{20}=85 \text{ kgf/cm.}$$

$$Q_{eb}=\sqrt{0{,}6\,bh_0^2R_t\,q_e}-A_{e,t}\,R_{at}=\sqrt{0{,}6\times 30\times 56^2\times 100\times 85}-1\,700=$$

$$=21\,900-1\,700=20\,200 \text{ kgf.}$$

$Q_{eb}>Q$ de aceea nu sînt necesare bare înclinate.

Pentru a se realiza o bună ancorare a armăturilor din cîmp se foloseşte în mod curent ridicarea armăturilor din zona întinsă spre zona comprimată pentru ancorare.

Conform indicaţiilor normativului P. 8-62, barele longitudinale pot fi ridicate la o distanţă egală cu cel puţin $h_0/2$, faţă de secţiunea normală pe axa elementului, în care armătura ridicată este utilizată în întregime.

Potrivit acestei indicaţii în fig. VI.53 sînt fixate punctele în care barele *1*, *2*, *3* pot fi ridicate.

Barele ridicate încetează în mod practic să mai contribuie la preluarea solicitărilor în momentul în care au atins zona comprimată (opusă).

Diagrama capacităţii portante a elementului este reprezentată în fig. VI.53.

Exemplul VI.37. Să se verifice la acţiunea momentului încovoietor secţiunea înclinată din colţul intrînd, pentru porţiunea de reazem a grinzii din fig. VI.54, cunoscînd deschiderea de calcul $l_0=10$ m; încărcarea totală de calcul uniform distribuită $q=6{,}5$ tf/m; grinda se execută din beton B 300 şi cu armătură OL 38; secţiunea grinzii în deschidere $bh=30\times 80$ cm.

Forţa tăietoare maximă pe axa reazemului

$$Q_{max}=\frac{ql_0}{2}=\frac{6{,}5\times 10}{2}=32{,}5 \text{ tf}=32\,500 \text{ kgf}$$

Direcţia celei mai defavorabile fisuri înclinate pentru acţiunea momentului încovoietor se determină cu relaţia (VI.172)

$$Q_0=\sum A_{ai}\,R_a \sin\alpha+\sum A_{e,t}\,R_a$$

$$\sum A_{ai}\,R_a \sin\alpha=15{,}20\times 2\,100\times 0{,}7=22\,300 \text{ kgf.}$$

Scanned with OKEN Scanner

Considerînd că fisura va intersecta doi etrieri

$$\Sigma A_{e,t} R_a = 2 \times 2\,100 = 4\,200 \text{ kgf}$$

$$\Sigma A_{ai} R_a \sin \alpha + \Sigma A_{e,t} R_a = 26\,500 \text{ kgf}$$

$$Q_0 = Q_{max} - qx = 32\,500 - 6\,500\,x = 26\,500 \text{ kgf}$$

$$x = \frac{32\,500 - 26\,500}{6\,500} = \frac{6\,000}{6\,500} = 92{,}5 \text{ cm}.$$

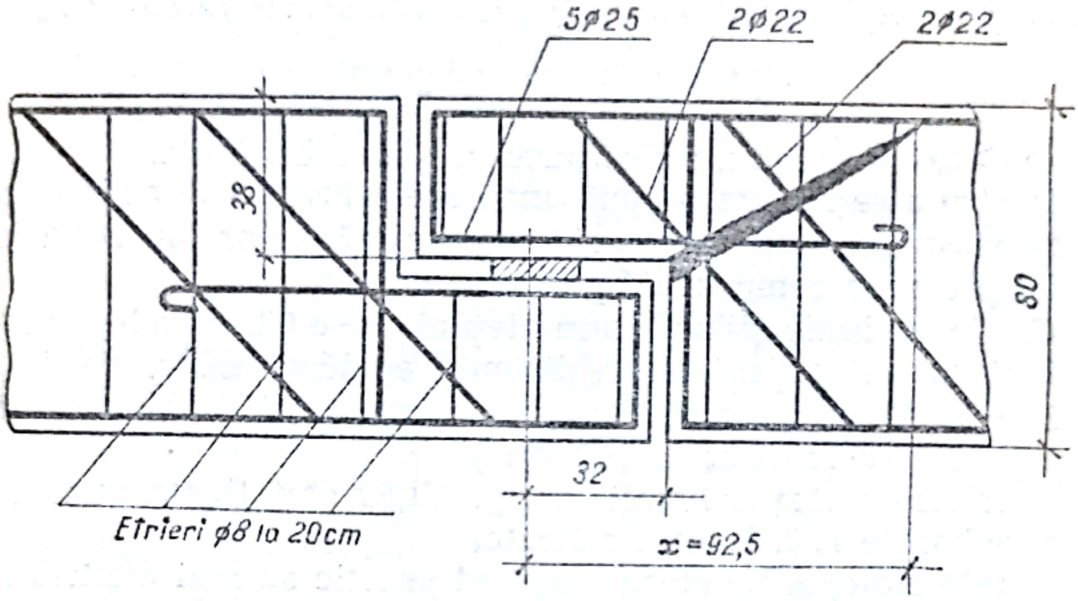


Fig. VI.54.

Momentul încovoietor în această secțiune are valoarea

$$M = \frac{qx(l_0 - x)}{2} = \frac{6\,500 \times 0{,}925\,(10 - 0\,925)}{2} = 27\,300 \text{ kgfm}.$$

Determinînd brațele pîrghiei cu aproximație rezultă

$$A_a R_a z = 24{,}54 \times 2\,100 \times 30 = 1\,545\,000 \text{ kgfcm}$$

$$A_{ai} R_a z_i = 7{,}6 \times 2\,100(36 + 58) = 1\,500\,000 \text{ kgfcm}$$

$$A_{e,t} R_a z_e = 1 \times 2\,100(20 + 40) = 126\,000 \text{ kgfcm}$$

$$M < A_a R_a z + \Sigma A_{ai} R_a z_i \sin \alpha + \Sigma A_{e,t} R_a z_e.$$

3. Acțiunea forțelor concentrate

a. *Relații de calcul*

Încărcările suspendate de grinzi sau aplicate pe fețele lor laterale indiferent dacă se transmit concentrat sau distribuit, trebuie preluate în întregime de armătura transversală anco-

rată în zona comprimată, fără a lua în considerație rezistența betonului.

Pentru preluarea încărcărilor concentrate, lungimea porțiunii de grindă în limitele căreia se ia în considerație armătura transversală (piese de suspendare, etrieri închiși, bare transversale sudate, bare înclinate) se ia (fig. VI.55 *a*)

$s_1 = 3\,b_1 + 2\,h_1$ (lungimea pe care poate fi așezată armătura de suspendare).

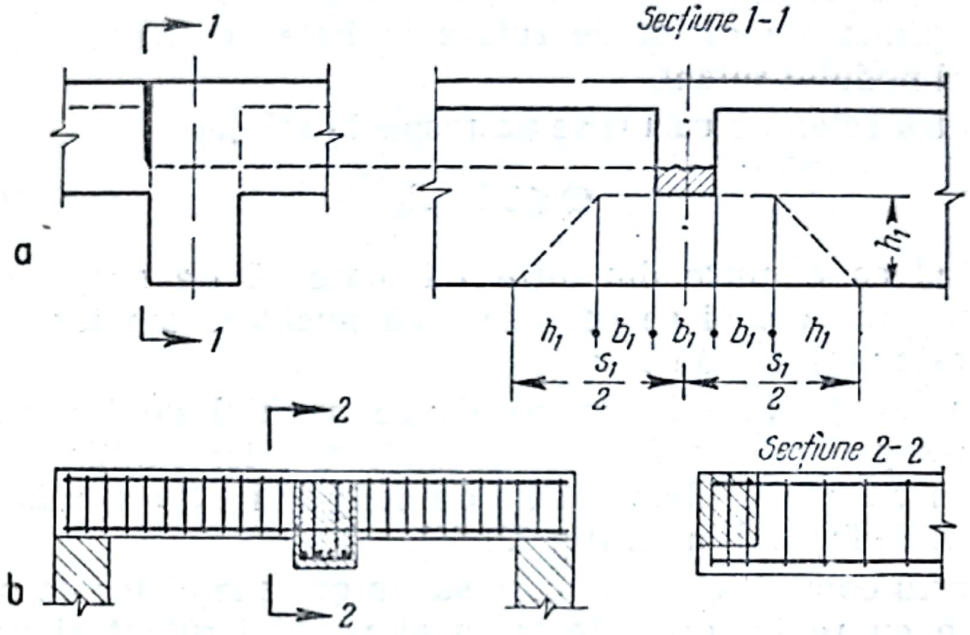


Fig. VI.55.

Mărimea lui s_1 nu trebuie să depășească

$$s_1 = b_1 + 4\,h_1$$

în care b_1 este lățimea pe care se aplică sarcina;

h_1 — distanța de la fața inferioară a elementului calculat pînă la fața inferioară a elementului care transmite sarcina.

Dacă elementul care transmite forța concentrată (antretoaza) este așezat la partea inferioară a grinzii pe care se face rezemarea (fig. VI.55 *b*) întreaga secțiune trebuie preluată în limitele zonei de rezemare prin etrieri închiși, care cuprind armătura inferioară din elementul care transmite sarcina sau care sînt sudați de această armătură inferioară.

În asemenea cazuri se vor prevedea armături sau piese de suspendare.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru consolele scurte (unde $l_c \leqslant 0{,}9\ h_0$) care susțin grinzi, ferme etc., normativul P. 8-62 recomandă ca proiectarea să se efectueze pe baza relației (VI.146)

$$Q \leqslant bh_0R_t$$

unde b și h_0 sînt dimensiunile secțiunilor consolei la racordarea ei cu stîlpul sau grinda.

Această condiție este obligatorie pentru consolele care susțin grinzi ale căilor de rulare la hale cu regim greu de lucru al podului rulant.

Pentru celelalte cazuri se va respecta relația

$$Q \leqslant 2\, bh_0R_t \qquad \text{(VI.173)}$$

admițînd ca o parte din forța tăietoare să fie acoperită de armătură (de obicei se consideră că jumătate din forța tăietoare este preluată de beton).

Normativul P. 8-62 recomandă ca unghiul de înclinare a feței comprimate să fie de cel mult 45°, iar înălțimea secțiunii la marginea liberă să fie de cel puțin 1/3 din înălțimea secțiunii la fața stîlpului (fig. VI.56).

Pentru consolele scurte care susțin grinzile căilor de rulare în hale cu regim greu de lucru al podului rulant și pentru celelalte cazuri cînd $Q > bh_0R_t$ se recomandă să se realizeze o racordare a feței inferioare a consolei cu stîlpul cu ajutorul unui arc de cerc sau vută, pe o porțiune avînd lungimea de cel puțin 1/3 din lungimea feței înclinate (fig. VI.56). Sporul de înălțime obținut prin racordare nu se ia în considerație în calcule.

Armarea consolelor scurte se face de preferință cu etrieri înclinați așezați la distanța maximă $a = 15$ cm. În loc de etrieri pot fi prevăzute bare îndoite.

Pentru asigurarea unei bune conlucrări a betonului cu armătura nu este recomandabil să se folosească bare cu diametrul mai mare decît 22—25 mm.

Normativul P. 8-62 recomandă $d \leqslant \frac{1}{15}\, l_a$, unde l_a este lungimea activă a barei (v. fig. VI.56, *c*).

La consolele care au înălțimea $h_0 > 2{,}5\, C_1$, unde C_1 este lungimea consolei, armarea se poate face cu etrieri orizontali (v. fig. VI.56, *d*).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru consolele la care $R_t < \frac{Q}{bh_0} \leq 2R_t$ secțiunea totală a barelor înclinate și a etrierilor înclinați necesari pentru preluarea forței tăietoare se determină cu relația

$$A_t = \frac{Q}{2R_a \sin \alpha}. \qquad \text{(VI.174)}$$

Această relație admite că jumătate din forța tăietoare este acoperită de rezistența betonului iar restul de armătură.

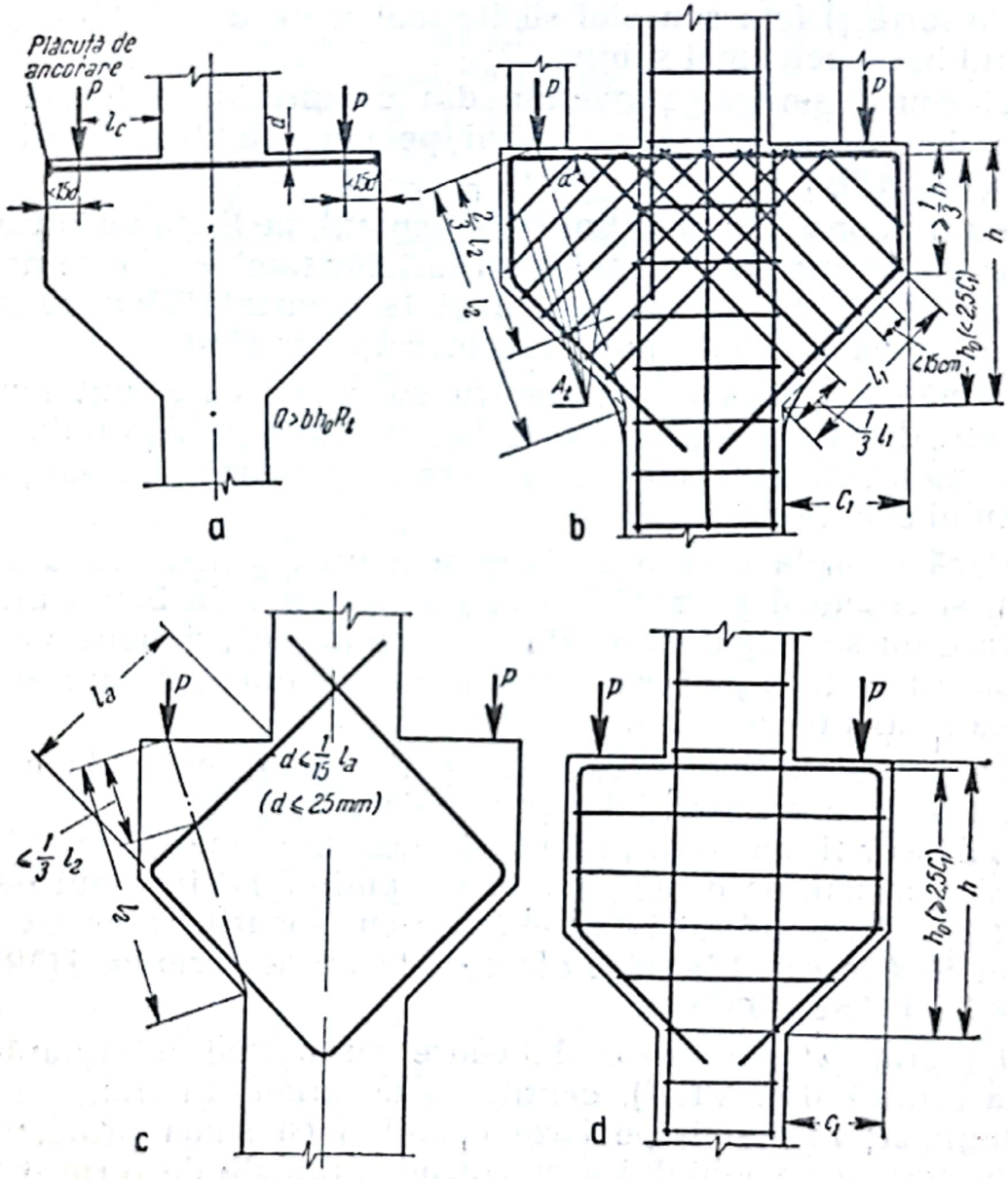


Fig. VI.56.

Armăturile înclinate și etrierii înclinați determinați pe baza relației (VI.174) se distribuie pe o porțiune egală cu 2/3 din lungimea distanței între punctul de aplicație al încărcării și vîrful unghiului de racordare al consolei (v. fig. VI.56, *b*).

Scanned with OKEN Scanner

Dacă forța concentrată P este așezată la o distanță mai mică decît $15\,d$ de capătul consolei, betonul poate fi strivit, distrugîndu-se conlucrarea cu armătura.

În acest caz normativul P. 8-62 prevede folosirea unor ancoraje frontale cu ajutorul unor plăcuțe sau corniere sudate, care să poată prelua cel puțin 30% din efortul maxim în bare în cazul armăturii cu profil periodic, respectiv 50% din acest efort în cazul armăturii netede (v. fig. VI.56, *a*).

Din aceste motive se recomandă ca în proiectare, distanța dintre forță și fața consolei să fie mai mare decît 15 ori diametrul barei celei mai subțiri.

Eforturile unitare provenite din compresiunea locală, în zona de transmitere a încărcării pe consolă, trebuie să nu depășească R_{pr}.

Pentru consolele grinzilor cu articulații, pe lîngă verificarea în secțiunea înclinată la acțiunea forțelor tăietoare, este necesar să se efectueze verificarea și la momentul încovoietor, în secțiunea înclinată pornind din colțul intrînd.

Armătura longitudinală pentru consolele care sînt legate monolit de stîlpi sau grinzi de beton armat se determină pe baza momentului încovoietor care acționează la marginea stîlpului sau a grinzii.

Dacă consola este o prelungire a unei grinzi sau a unei plăci și reazemă pe zidărie sau pe elemente de beton armat cu care nu se asigură o conlucrare monolitică, dimensionarea armăturii se face pe baza momentului încovoietor care acționează în axa reazemului.

La consolele scurte care fac parte din grinzile de beton armat, barele armăturii longitudinale și barele înclinate din consolă vor fi ancorate peste secțiunea de la marginea stîlpului sau grinzii, pe o lungime de cel puțin $30\,d$ în cazul barelor de oțel rotund OL 38 (prevăzute cu ciocuri), respectiv cel puțin $40\,d$ în cazul barelor din oțel cu profil periodic TOR 47, TOR 57, PC 52 și PC 60.

La armarea colțurilor de cadre cu partea interioară în zona întinsă (fig. VI.57), cantitatea de armătură transversală (etrieri) se va stabili pe baza condiției ca suma proiecțiilor pe bisectoarea unghiului a eforturilor preluate de etrierii amplasați pe lungimea

$$s = h \operatorname{tg} \frac{3}{8} \gamma \qquad \text{(VI.175)}$$

să fie mai mare sau cel puțin egală cu forța P_1, determinată după cum se arată în continuare:

Scanned with OKEN Scanner

— dacă elementele sînt armate cu bare longitudinale care se întretaie (v. fig. VI.57, *a*) și care sînt ancorate în zona comprimată

$$P_1 = 0{,}7\, A_a\, R_a \cos\frac{\gamma}{2} \qquad \text{(VI.176)}$$

în care A_a este aria tuturor barelor longitudinale întinse;

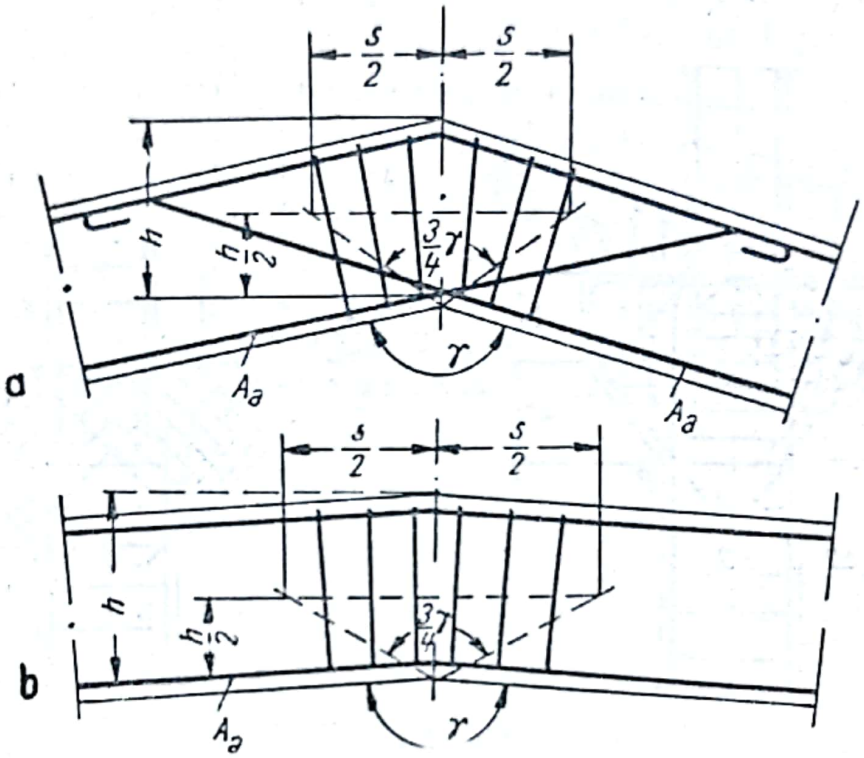


Fig. VI.57.

— dacă elementele sînt armate cu bare longitudinale care se întretaie, dintre care o parte cu aria A_{aint} și care sînt ancorate în zone cu eforturi unitare de întindere

$$P_1 = (0{,}7\, A_a + 1{,}3\, A_{aint})\, R_a \cos\frac{\gamma}{2}; \qquad \text{(VI.177)}$$

— dacă elementele sînt armate cu bare longitudinale continue, îndoite după conturul unghiului intrînd (fig. VI.57, *b*)

$$P_1 = 2\, A_a\, R_a \cos\frac{\gamma}{2}. \qquad \text{(VI.178)}$$

b. *Exemple de calcul*

Exemplul VI.38. Să se dimensioneze armătura consolei pentru un stîlp (fig. VI.58) care susține grinda căii de rulare a unui pod rulant cu regim mediu de lucru. Consola se exe-

cută din beton B 250 iar armătura se confecționează din OL 38; solicitarea de calcul este $P=35$ tf și $b=40$ cm.

$\frac{Q}{bh_0}=\frac{35\,000}{40\times105}=8{,}34>R_t$ deci este necesară armătură transversală.

Pentru podurile rulante cu regim ușor și mediu se verifică condiția (VI.173)

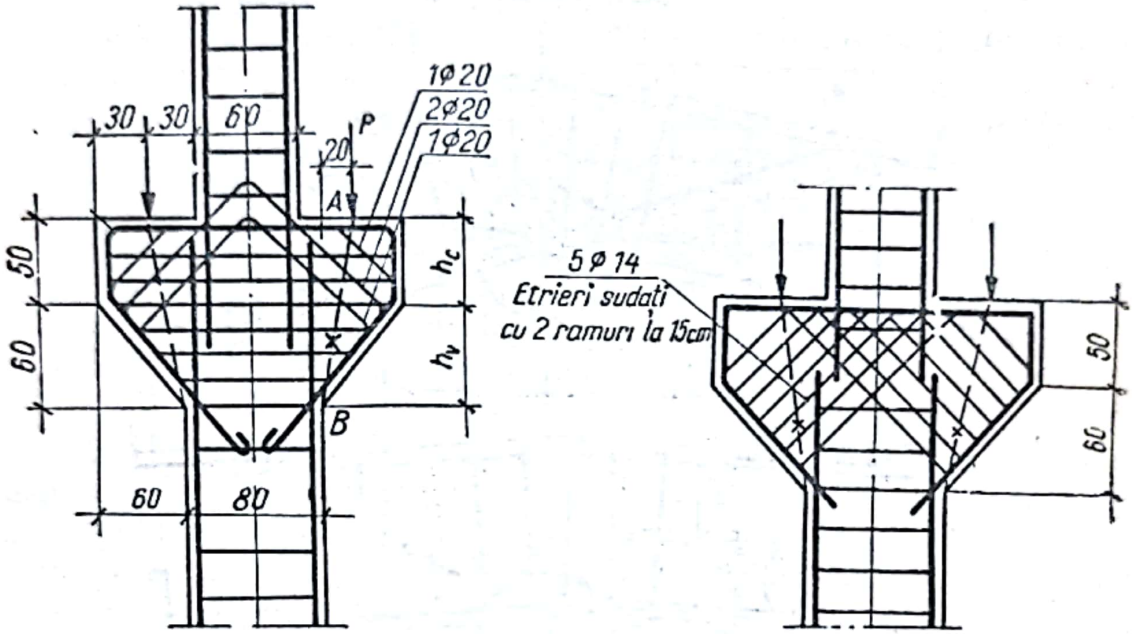


Fig. VI.58.

$$Q<2\,b\,h_0\,R_t=2\times40\times105\times7{,}5=63\,000 \text{ kgf}.$$

Armătura înclinată necesară se determină cu ajutorul relației (VI.174)

$$A_t=\frac{Q}{2R_a\sin\alpha}=\frac{35\,000}{2\times2\,100\times0{,}707}=11{,}9 \text{ cm}^2.$$

Armătura longitudinală necesară pentru acoperirea momentului încovoietor $M=35\,000\times20=700\,000$ kgfcm se determină cu ajutorul tabelelor de calcul;

$$B=\frac{M}{bh_0^2}=\frac{700\,000}{20\times105^2}=3{,}18.$$

Pentru această valoare B, procentul de armare este 0,16% (v. tabela VI.3).

$$A_a=0{,}0016\times40\times105=6{,}7 \text{ cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru acoperirea momentului sînt suficiente 2 ∅ 22 mm.

Se adoptă două soluții de armare cu armături înclinate și cu etrieri sudați înclinați.

În primul caz, pentru armătura înclinată sînt necesare 4 ∅ 20 mm.

În cazul adoptării unei armări cu etrieri sudați înclinați cu două brațe sînt necesari 5 etrieri ∅ 14 mm.

Cele două scheme de armare sînt redate în fig. VI.58.

Exemplul VI.39. Să se determine secțiunea de armătură necesară pentru preluarea sarcinii concentrate transmise de o grindă secundară asupra unei grinzi principale cu lățimea grinzii secundare $b_1=20$ cm; distanța de la fața inferioară a grinzii secundare pînă la fața inferioară a grinzii principale $h_1=10$ cm; forța concentrată transmisă de grinda secundară $Q=12{,}5$ tf; se folosesc etrieri ∅ 8 mm din OL 38.

Secțiunea de armătură necesară pentru preluarea sarcinii concentrate va fi

$$A_e=\frac{Q}{R_{at}}=\frac{12\,500}{1\,700}=7{,}35\ \text{cm}^2.$$

Lungimea porțiunii de grindă în limitele căreia se ia în considerație armătura determinată anterior este

$$s_1=3\,b_1+2\,h_1=3\times20+2\times10=80\ \text{cm}.$$

Se verifică prin

$$s_1=b_1+4\,h_1=20+4\times10=60\ \text{cm}.$$

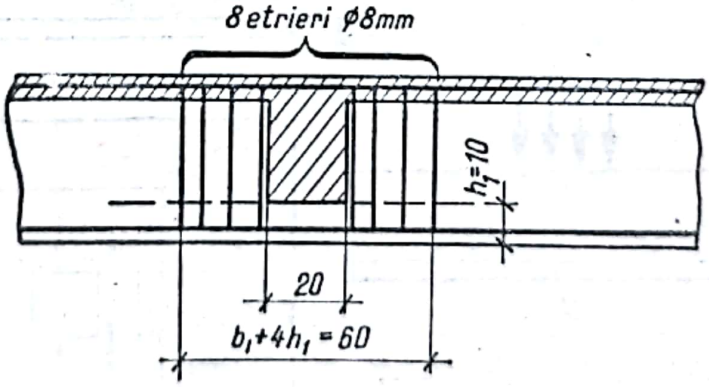


Fig. VI.59.

Rezultă că lungimea în care se amplasează armătura calculată este de 60 cm.

Scanned with OKEN Scanner

Folosind etrieri ∅ 8 mm cu două ramuri, numărul de etrieri poate fi egal cu 8 bucăți montați în grinda principală, de o parte și de alta a grinzii secundare, în mod egal (fig. VI.59).

4. Calculul la străpungere

a. *Relații de calcul*

Calculul la străpungere a fundațiilor de formă pătrată, încărcate centric, a capitelurilor planșeelor ciuperci, precum și a plăcilor solicitate la încărcări locale se face cu ajutorul relației

$$P \leqslant 0{,}75\, p_m\, h_0\, R_t \qquad \text{(VI.179)}$$

în care: P este forța de străpungere de calcul, egală cu valoarea forței de calcul din secțiunea stîlpului de lîngă partea superioară a fundației, respectiv de lîngă partea inferioară a capitelului planșeului ciupercă, din care se scad încărcările aplicate la baza mare a trunchiului de piramidă cu înălțimea h_0 și fețele laterale înclinate sub un unghi de 45° față de axa stîlpului (v. fig. VI.60, *a*);

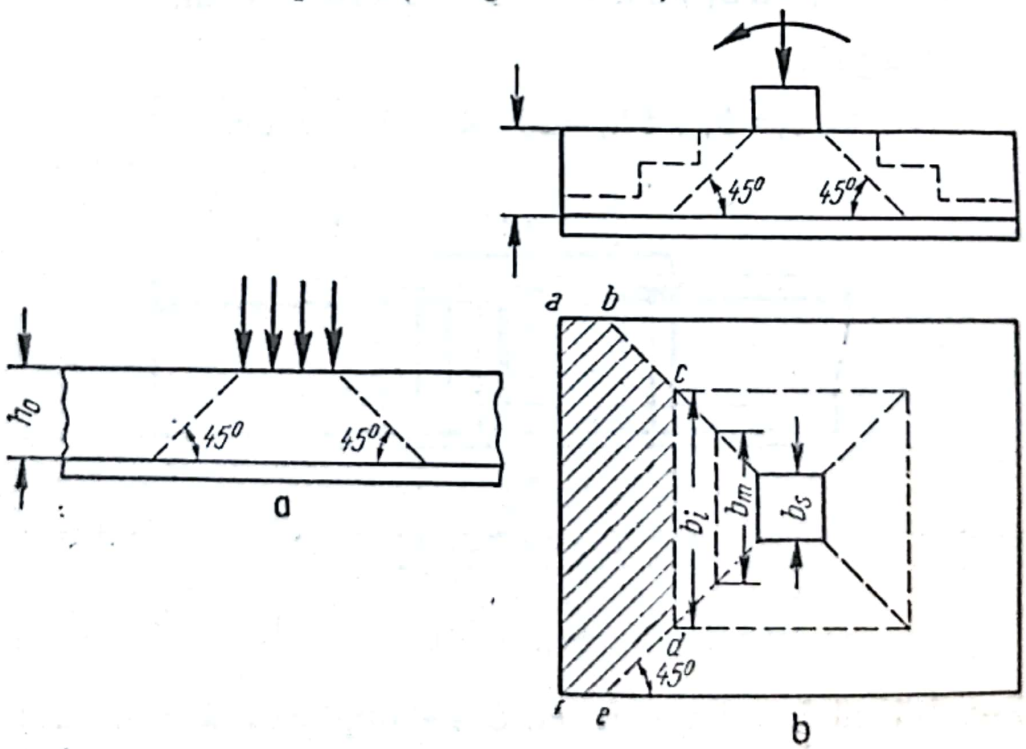


Fig. VI.60.

în care: h_0 este înălțimea utilă a secțiunii fundației sau a plăcii în porțiunea verificată;

p_m — media aritmetică între perimetrul feței superioare și inferioare a trunchiului de piramidă menționat.

Calculul la străpungere a fundațiilor dreptunghiulare, precum și a fundațiilor solicitate de o încărcare excentrică se face cu ajutorul relației

$$P \leqslant 0{,}75\, b_m\, h_0\, R_t \qquad \text{(VI.180)}$$

în care: $P = \bar{A}\,\sigma_t$;

$\bar{A}$ este aria poligonului a, b, c, d, e, f (v. fig. VI.60, b);

σ_t — efortul unitar maxim pe teren în interiorul acestui poligon, sub acțiunea încărcării de calcul (ținînd seama și de moment);

b_m — media aritmetică între latura superioară și inferioară a trunchiului de piramidă de înălțime h_0, după care se calculează străpungerea (v. fig. VI.60, b).

b. *Exemple de calcul*

Exemplul VI.40. Să se determine lungimea minimă a laturii unui capitel de stîlp pătrat, pe care se reazemă un planșeu ciupercă, cunoscînd grosimea plăcii $h_p = 18$ cm; marca betonului B 200; solicitarea de calcul $P = 22$ tf.

Din relația (VI.179) se deduce

$$p_m \geqslant \frac{P}{0{,}75\, h_0 R_t} = \frac{22\,000}{0{,}75 \times 16 \times 6{,}5} = 282 \text{ cm}$$

$$p_m = 4(b + h_0)$$

$$b \geqslant \frac{p_m}{4} - h_0 = \frac{282}{4} - 16 = 54{,}5 \text{ cm}.$$

Latura capitelului trebuie să fie de cel puțin 55 cm.

Exemplul VI.41. Să se determine grosimea minimă a plăcii unui planșeu ciupercă care se reazemă pe un capitel pătrat cu latura de 50 cm știind că placa se execută din beton B 200 și că solicitarea de calcul este $P = 16$ tf.

Înlocuind în relația (VI.179)

$$p_m = 4\,(b + h_0)$$

se deduce $$P \leq 3\,(b+h_0)\,h_0\,R_t$$

respectiv $$(50+h_0)\,h_0 \geq \frac{16\,000}{3\times 6{,}5}.$$

Rezultă $h_0 \geq 13{,}0$ cm. Se adoptă $h=15$ cm.

Exemplul VI.42. Să se determine înălțimea minimă a unei fundații cu talpă de beton armat pentru un stîlp de formă pătrată, cu latura secțiunii de 50 cm, solicitat de o încărcare centrică de calcul $P_{st}=180$ tf. Latura bazei fundației este de 2,00 m; fundația este executată din beton B 100 (fig. VI.61).

Încărcarea de calcul pe baza fundației

$$p = \frac{180\,000}{200\times 200} = 4{,}5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P = 4{,}5\,[200\times 200 - (50+2\,h_0)^2]$$

$$p_m = 4(50+h_0)$$

$$P = 0{,}75\,n_m\,h_0\,R_t$$

$$4{,}5\,[200\times 200-(50+2\,h_0)^2] = 0{,}75\times 4\,(50+h_0)\,4\,h_0$$

Rezultă: $h_0=54{,}1$ cm și $h=60$ cm

Exemplul VI.43. Să se determine înălțimea necesară pentru fundația cu talpă de beton armat a unui stîlp de secțiune

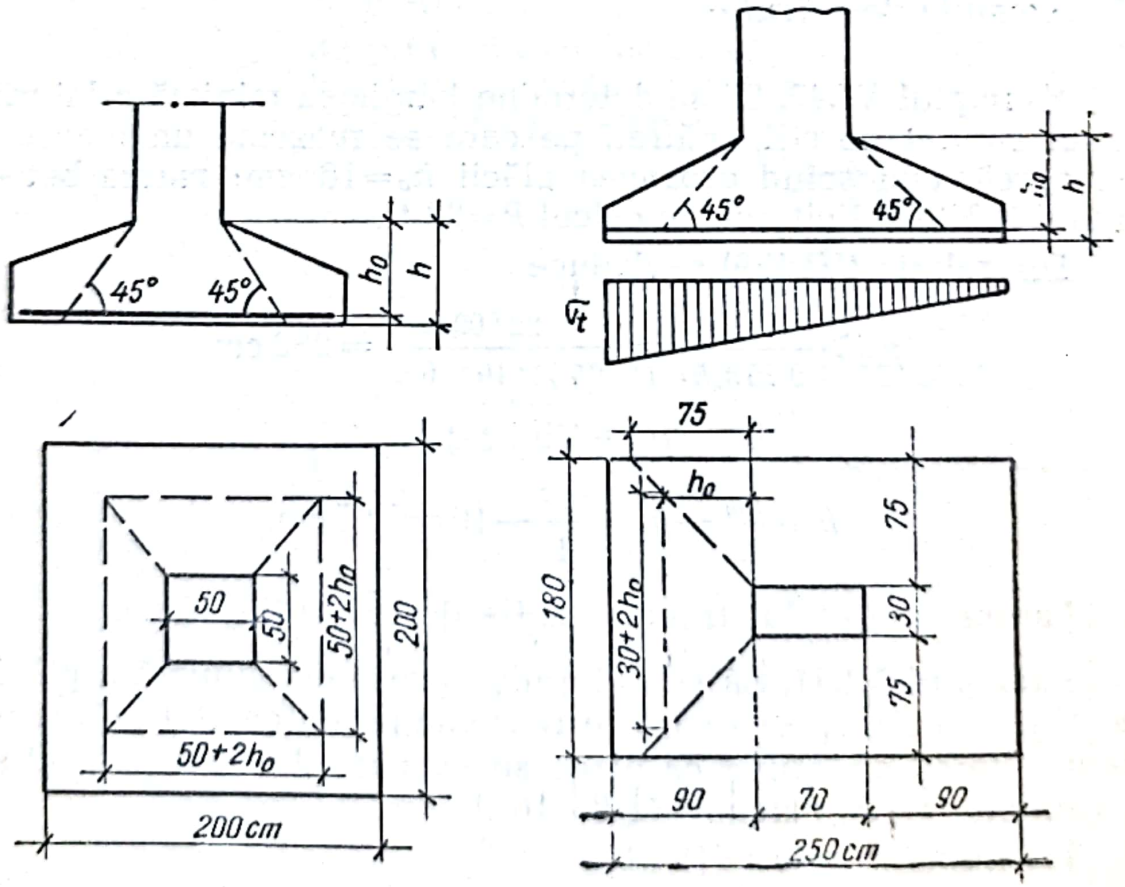


Fig. VI.61.

Fig. VI.62.

dreptunghiulară 30×70 cm, cunoscînd că solicitările de calcul la baza fundației sînt $N=82$ tf și $M=34$ tfm. Fundația este executată din beton B 100 și dimensiunile bazei fundației sînt 180×250 cm (fig. VI.62).

Efortul unitar pe teren:

$$\sigma_t = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{82\,000}{180 \times 250} \pm \frac{3\,400\,000}{\frac{180 \times 250^2}{6}} = 1{,}825 \pm 1{,}815 = 3{,}64 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A = 180(90-75) + \frac{180 + 30 + 2h_0}{2}(75-h_0) = 2\,700 +$$

$$+ (105+h_0)(75-h_0) \quad b_m = 30 + h_0.$$

Înlocuind în relația (VI.180) se deduce

$$3{,}64\,[2\,700 + (105+h_0)(75-h_0)] \leqslant 0{,}75\,(30+h_0)\,4h_0$$

$$h_0 \geqslant 62{,}6$$

Se adoptă $h=70$ cm.

C. CALCULUL DEFORMAȚIILOR ȘI FISURĂRII ELEMENTELOR ÎNCOVOIATE

1. Calculul eforturilor unitare în secțiuni fisurate

Pentru calculul elementelor de beton armat încovoiate la stările limită ale exploatării normale ca starea limită de deformație și de deschidere a fisurilor este necesară determinarea eforturilor unitare din beton și armătură în secțiuni fisurate (stadiul II).

La baza calculului stau următoarele ipoteze: betonul din zona întinsă nu se ia în considerație la preluarea solicitării, betonul din zona comprimată lucrează cu un modul de elasticitate constant, iar secțiunile plane, rămîn plane și după deformare.

Determinarea eforturilor unitare principale se face considerînd elementul ca un corp omogen și elastic.

Pentru elementele cu secțiune dreptunghiulară, T, I sau casetată, solicitate la încovoiere, eforturile unitare normale se determină cu relațiile

$$\sigma_a = \frac{M}{A_a \zeta_2 h_0} \qquad \text{(VI.181)}$$

$$\sigma_b = \frac{\xi_2}{n'(1-\xi_2)}\sigma_a \qquad \text{(VI.182)}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: σ_a este efortul unitar în armătură;
σ_b — efortul unitar normal în beton la fibra cea mai comprimată;
n' — coeficient de echivalență [v. relațiile (VI.188) și (VI.189)];

$$\zeta_2 = \frac{z}{h_0}; \quad \xi_2 = \frac{x}{h_0}.$$

Poziția relativă a axei neutre în stadiul II, se determină după cum urmează:

— pentru secțiuni dreptunghiulare și secțiuni T cu placa în zona întinsă și axa neutră în inimă, cu relația

$$\xi_2 = \mu n' \left(\sqrt{1 + \frac{2}{n'\mu}} - 1 \right); \qquad \text{(VI.183)}$$

— pentru secțiuni T cu placa în zona comprimată, secțiuni I sau casetate, dacă axa neutră cade în inimă, cu relația

$$\xi_2 = -\beta + \sqrt{\beta^2 + 2n'\mu + \bar{A}\bar{h}_p} \qquad \text{(VI.184)}$$

unde

$$\beta = A + n'\mu; \quad \mu = \frac{A_a}{bh_0}; \quad A = \frac{b_p - b}{b}\bar{h}_p; \quad \bar{h}_p = \frac{h_p}{h_0}.$$

Dacă axa neutră cade în placă ($\xi_2 h_0 \leqslant h_p$) calculul se face ca pentru o secțiune dreptunghiulară de lățime b_p.

Pentru secțiunile dreptunghiulare cu armătură dublă poziția relativă a axei neutre se determină cu relația

$$\xi_2 = n'(\mu - \mu') \left[\sqrt{1 + \frac{2(\mu - \mu'\chi')}{n(\mu - \mu')^2}} - 1 \right] \qquad \text{(VI.185)}$$

unde

$$\chi' = \frac{a'}{h_0}; \quad \mu' = \frac{A'_a}{bh_0}.$$

Valoarea $\zeta_2 = \frac{z}{h_0}$ pentru elementele solicitate la încovoiere, simplu armate, se determină astfel:

— pentru secțiuni dreptunghiulare și secțiuni T cu placa în zona întinsă și axa neutră în inimă, cu relația

$$\zeta_2 = 1 - \frac{\xi_2}{3}; \qquad \text{(VI.186)}$$

Scanned with OKEN Scanner

— pentru secțiuni T cu placa în zona comprimată, secțiuni I sau casetate, dacă axa neutră cade în inimă, cu relația

$$\zeta_2 = 1 - \frac{\xi_2}{3} + \frac{2}{3} \frac{\bar{h}_p}{\frac{\bar{b}_p}{\bar{b}_p - 1}\left(\frac{\xi_2}{\xi_2 - \bar{h}_p}\right)^2 - 1} \qquad \text{(VI.187)}$$

unde

$$\bar{h}_p = \frac{h_p}{h_0}; \quad \bar{b}_p = \frac{b_p}{b}.$$

În aceste relații coeficientul de echivalență n' trebuie să țină seamă atît de procentul de armare și de calitatea armăturii cît și de durata de acționare a încărcărilor

— pentru încărcări de scurtă durată

$$n' = \frac{E_a}{E_b}\left(1 + \mu \frac{R_a}{40}\right); \qquad \text{(VI.188)}$$

— pentru încărcări de lungă durată

$$n' = \frac{E_a}{E_b}\left(1 + \mu \frac{R_a}{40}\right)(1 + v\bar{\varphi}) \qquad \text{(VI.189)}$$

în care: v este raportul dintre încărcarea de lungă durată și încărcarea totală;

$\bar{\varphi}$ — caracteristica deformației în timp a betonului.

Valorile caracteristicii deformației în timp $\bar{\varphi}$ se obțin prin multiplicarea valorilor de bază φ_0 din tabela VI.21 (considerate pentru $R/R_{28}=1{,}0$; $\sigma_b/R \leqslant 0{,}5$; umiditate relativă $U=50$—60% și dimensiunea cea mai mică a secțiunii transversale $b>10$ cm) cu toți coeficienții de corecție din tabela VI.22.

Acești coeficienți țin seamă de rezistența betonului la data încărcării (k_1), de mărimea efortului unitar din beton (k_2), de umiditatea relativă a aerului (k_3) și de dimensiunea minimă a secțiunii în dreptul fibrei pentru care se face calculul (k_4). În tabela VI.21, R reprezintă rezistența cubică medie a betonului din operă la o vîrstă dată.

Din cele relatate rezultă relația

$$\bar{\varphi} = k_1 k_2 k_3 k_4 \varphi_0. \qquad \text{(VI.190)}$$

Pentru determinarea coeficientului v, se consideră încărcări de lungă durată:

— întreaga încărcare permanentă;

— încărcarea din zăpadă;

Scanned with OKEN Scanner

— întreaga încărcare utilă pentru biblioteci, arhive, depozite, cînd încărcarea utilă acționează timp îndelungat;

— încărcarea utilă care acționează asupra planșeelor construcțiilor industriale și a elementelor la care acestea transmit efectul încărcării, din care se scade 150 kgf/m^2.

Încărcarea provenită din zăpadă în locurile de aglomerare a zăpezii este considerată încărcare de scurtă durată.

Tabela VI.21

Valorile de bază ale caracteristicii deformației în timp a betonului, φ_0

$\frac{a}{c}$	Dozaj ciment, kg/m^3			
	250	300	350	450
0,35	—	—	—	2,60
0,4	—	—	2,60	2,80
0,5	—	2,80	3,00	3,20
0,6	3,15	3,40	3,65	4,00

Tabela VI.22

Coeficienți de corecție pentru caracteristica deformației în timp a betonului

Notația	Variabila	Valori
k_1	$\frac{R}{R_{28}} = \begin{cases} 0,6 \\ 1,0 \\ 1,2 \end{cases}$	1,3 1,0 0,75
k_2	$\frac{\sigma_b}{R} \leqslant 0,5$ $\frac{\sigma_b}{R} > 0,5$	1,0 $2\sigma_b/R$
k_3	$U = \begin{cases} <50\% \\ =50-60\% \\ =70-80\% \\ =90-100\% \end{cases}$	1,3 1,0 0,75 0,5
k_4	$b \begin{cases} < 10 \text{ cm} \\ > 10 \text{ cm} \end{cases}$	1,1 1,0

Se admite ca încărcările concentrate să fie considerate încărcări uniform distribuite echivalente.

2. Calculul deformațiilor

a. *Relații de calcul*

Calculul săgeților în starea limită de deformație se face după regulile staticii construcțiilor, folosind încărcările normate și modulul de rigiditate.

Pentru grinzile static determinate încărcate simetric săgeata maximă poate fi calculată cu ajutorul relației

$$f = S\frac{M_{max}}{K}l^2 \qquad \text{(VI.191)}$$

unde mărimea coeficientului S se determină conform schemelor din figura VI.63.

În relația (VI.191), K reprezintă modulul de rigiditate care exprimă produsul dintre caracteristica geometrică a secțiunii

Scanned with OKEN Scanner

(momentul de inerție) și modulul de deformație corespunzător materialului din care este executat elementul.

Pentru elementele solicitate la încovoiere modulul de rigiditate se determină cu ajutorul relației

$$K = \frac{E_a}{\psi} A_a \beta_1 h_0^2. \qquad \text{(VI.192)}$$

în care

$$\beta_1 = (1 - \xi_2)\zeta_2. \qquad \text{(VI.193)}$$

Valorile ξ_2 și ζ_2 se determină cu ajutorul relațiilor (VI.183) — (VI.187).

Coeficientul $\psi = \varepsilon_{cm}/\varepsilon_a$ este raportul dintre alungirea specifică medie a armăturii între două fisuri ε_{cm} și alungirea specifică a armăturii în dreptul fisurii ε_a, și se determină cu ajutorul relației

$$\psi = 1 - \overline{\beta} \frac{A_{bt} R_t^n}{A_a \sigma_a}. \qquad \text{(VI.194)}$$

Coeficientul $\overline{\beta}$ se introduce cu următoarele valori:

— pentru bare din oțel OL 38

$$\overline{\beta} = 0{,}2\ (1 - 0{,}6\ v); \qquad \text{(VI.195)}$$

— pentru bare din oțel TOR 47, TOR 57, PC 52 și PC 60

$$\overline{\beta} = 0{,}3\ (1 - 0{,}5\ v). \qquad \text{(VI.196)}$$

În relația (VI.196) A_{bt} este aria betonului întins în momentul apariției fisurii și se determină pe baza următoarelor ipoteze (fig. VI.64):

— secțiunile plane înainte de deformație rămîn plane și după deformație;

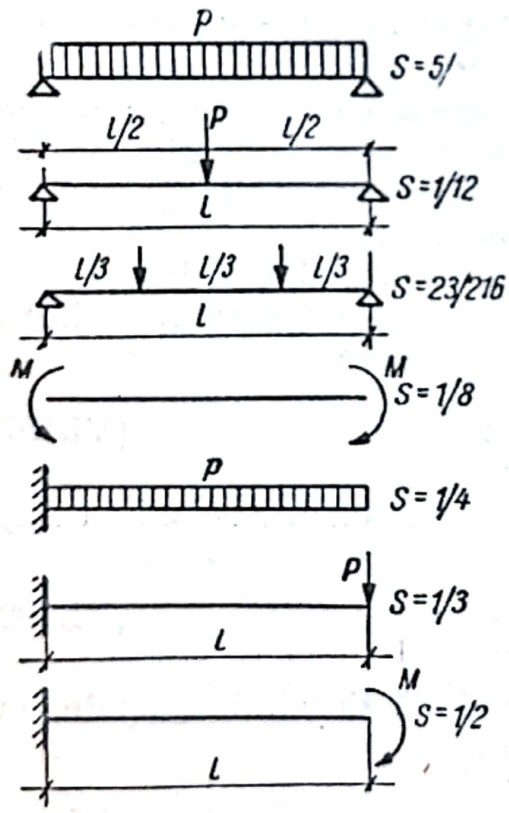


Fig. VI.63.

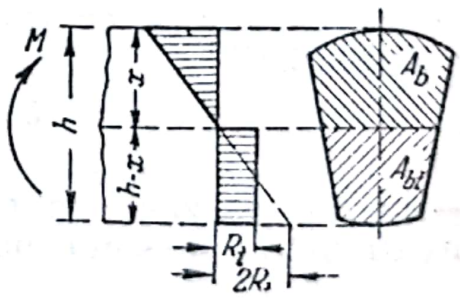


Fig. VI.64.

— distribuţia eforturilor unitare normale în zona comprimată este triunghiulară, iar în zona întinsă dreptunghiulară;

— la marginea întinsă a secţiunii, deformaţia specifică de calcul este egală cu dublul deformaţiei specifice elastice corespunzătoare rezistenţei de calcul ($\varepsilon_t = 2\,R_t/E_b$).

În mod acoperitor pentru secţiuni dreptunghiulare $A_{bt} = 1/2\,bh$.

Pentru determinarea valorilor coeficientului ψ se pot folosi nomogramele din figurile VI.75—VI.78, iar pentru β_1 nomograma din fig. VI.69.

Pentru calculul săgeţilor la grinzile static nedeterminate se folosesc metodele staticii construcţiilor, fiind necesară determinarea în prealabil a punctelor de moment nul şi momentelor maxime pe fiecare segment de grindă. Se determină apoi modulul de rigiditate pentru fiecare porţiune de grindă cu moment de acelaşi sens, după valoarea maximă a momentului încovoietor.

Se efectuează apoi calculul grinzii static nedeterminate cu rigiditatea amintită.

Normele sovietice pentru calculul sistemelor static nedeterminate recomandă următorul procedeu aproximativ de calcul: se determină momentele de pe reazem ca pentru un sistem elastic, apoi se înmulţesc aceste momente cu coeficienţii de corecţie determinaţi pentru grinzi cu deschideri egale şi se construieşte diagrama finală de momente.

Coeficienţii de corecţie pot fi determinaţi astfel:

— în deschiderile centrale încărcate cu sarcini uniform distribuite sau cu cîteva sarcini concentrate

$$\delta = \frac{3}{2+k}; \qquad \text{(VI.197)}$$

— în deschiderile centrale încărcate cu o sarcină în mijlocul deschiderii

$$\delta = \frac{2}{1+k}; \qquad \text{(VI.198)}$$

— pentru grinzile continue cu două deschideri egale, cu încărcări distribuite sau concentrate

$$\delta = \frac{1{,}5}{0{,}5+k}. \qquad \text{(VI.199)}$$

Pentru reazemul al doilea de la margine, la grinzile continue cu multe deschideri se ia un coeficient mediu între valoarea calculată pentru grinda cu două deschideri şi una din celelalte valori în funcţie de tipul încărcării.

Scanned with OKEN Scanner

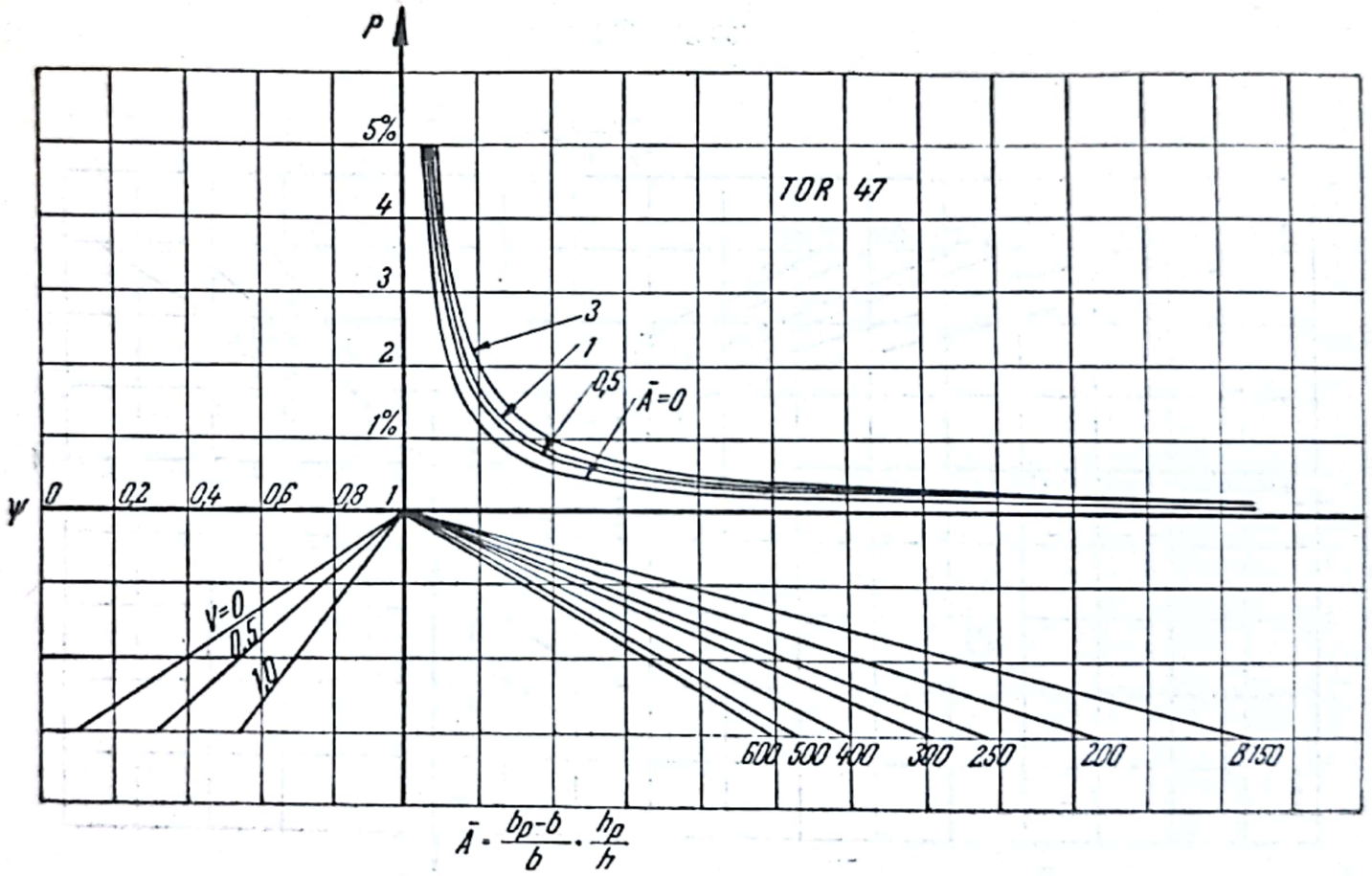

P
5%
4
3
2
1%
TOR 47
3
1
0,5
Ā=0
ψ
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
V=0
0,5
1,0
600
500
400
300
250
200
B150
$\bar{A} = \frac{b_p - b}{b} \cdot \frac{h_p}{h}$

Fig. VI.65.

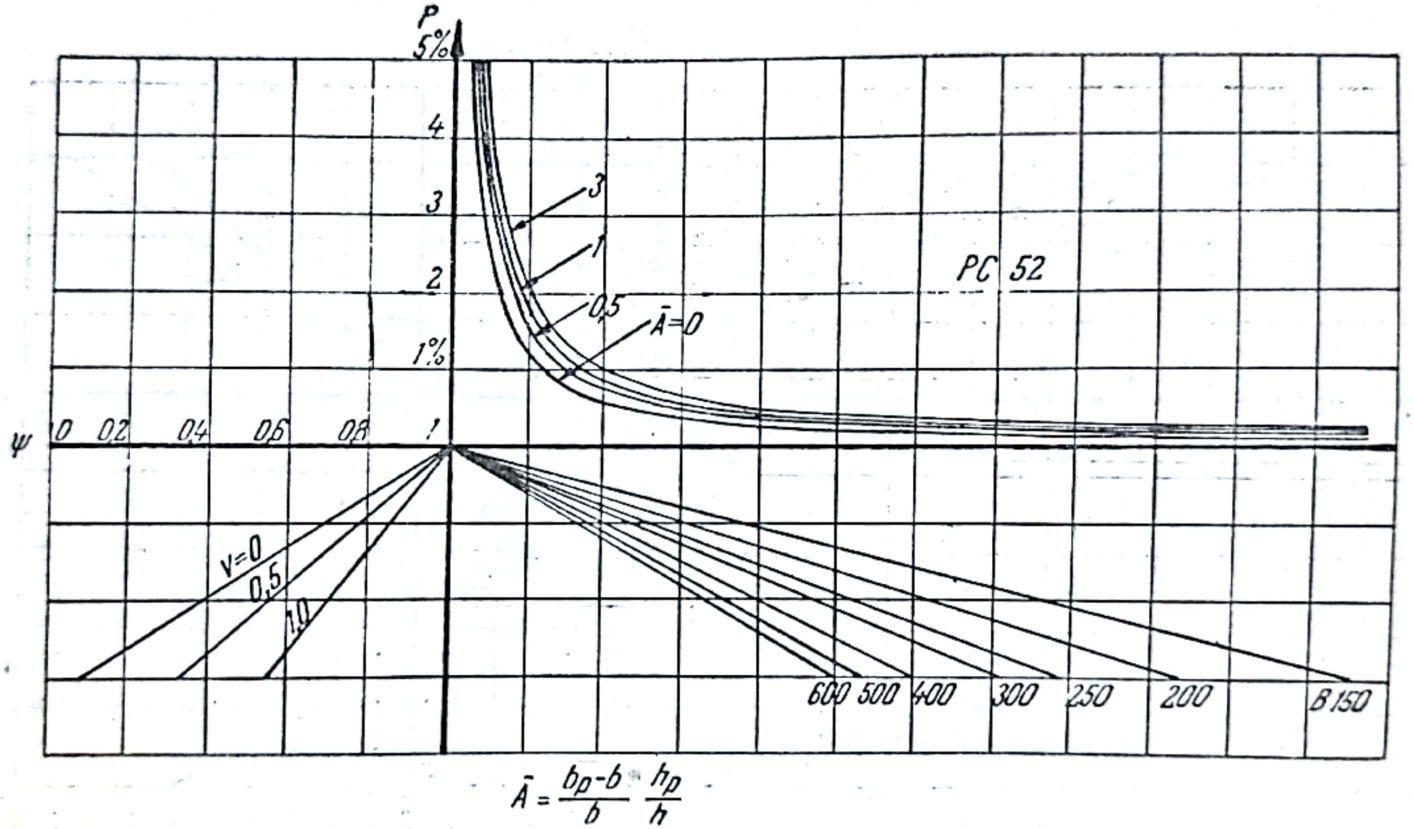

P
5%
4
3
2
1%
ψ
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
3
1
0,5
Ā=0
PC 52
v=0
0,5
1,0
600
500
400
300
250
200
B 150
$\bar{A} = \frac{b_p - b}{b} \frac{h_p}{h}$

Fig. VI.66.

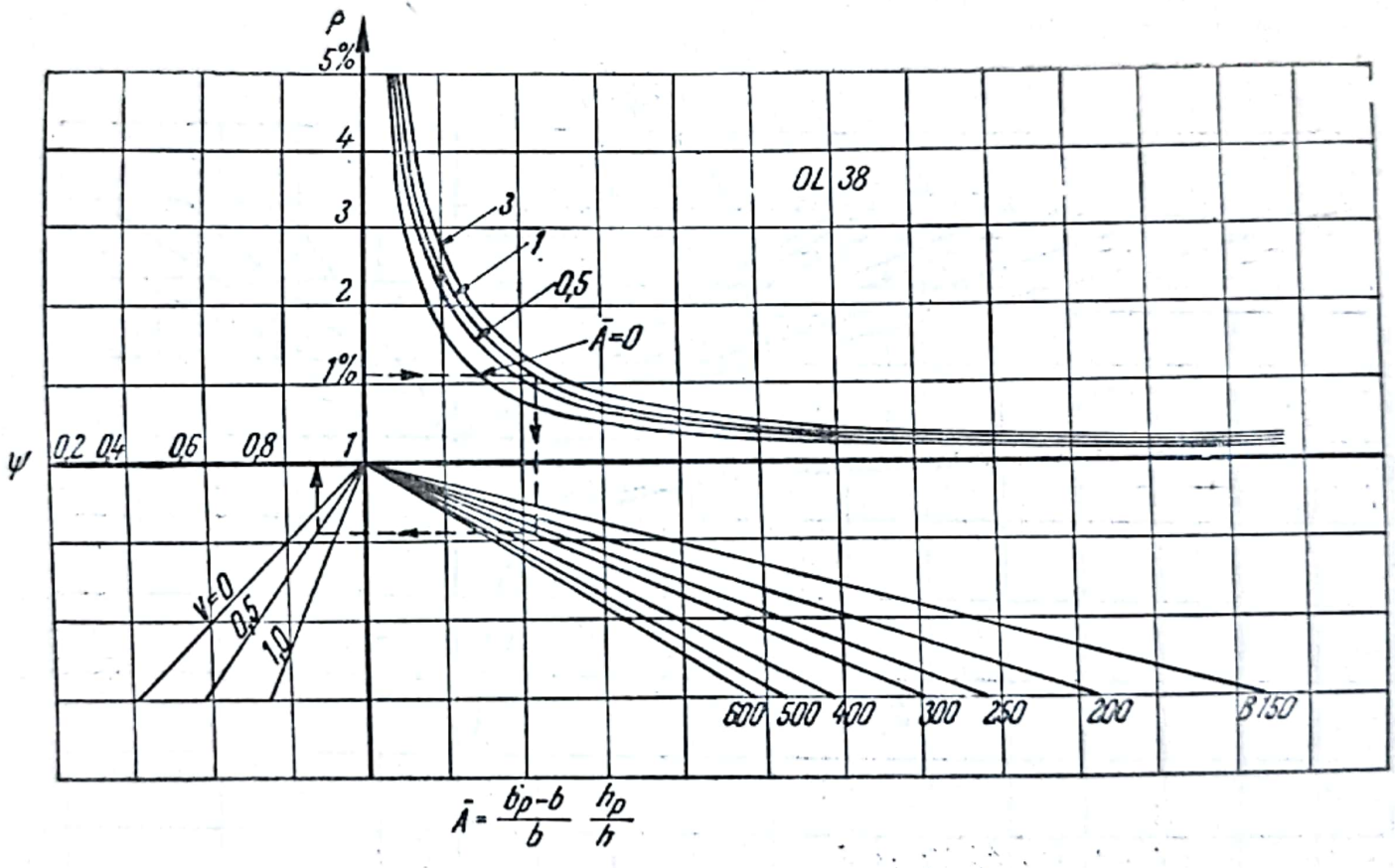

ρ
5%
4
3
2
1%
ψ
0,2
0,4
0,6
0,8
1
OL 38
3
1
0,5
Ā=0
ν=0
0,5
1,0
600
500
400
300
250
200
B 150
$\bar{A} = \frac{b_p - b}{b} \frac{h_p}{h}$

Fig. VI.67.

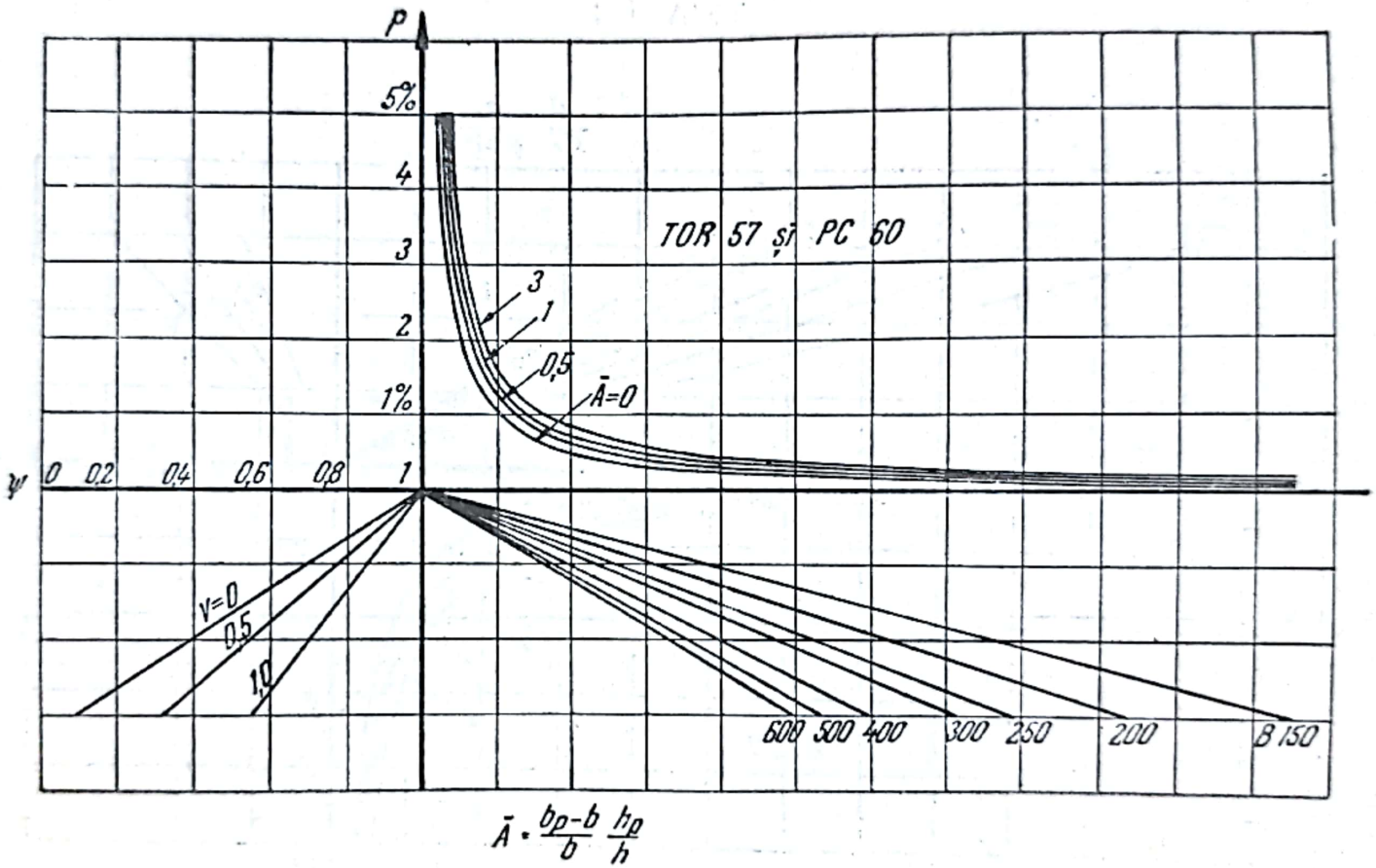

p
5%
4
3
2
1%
1
TOR 57 și PC 60
3
1
0,5
Ā=0
ψ
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
ν=0
0,5
1,0
600
500
400
300
250
200
B 150
Ā = (bp-b)/b · hp/h

Fig. VI.68.

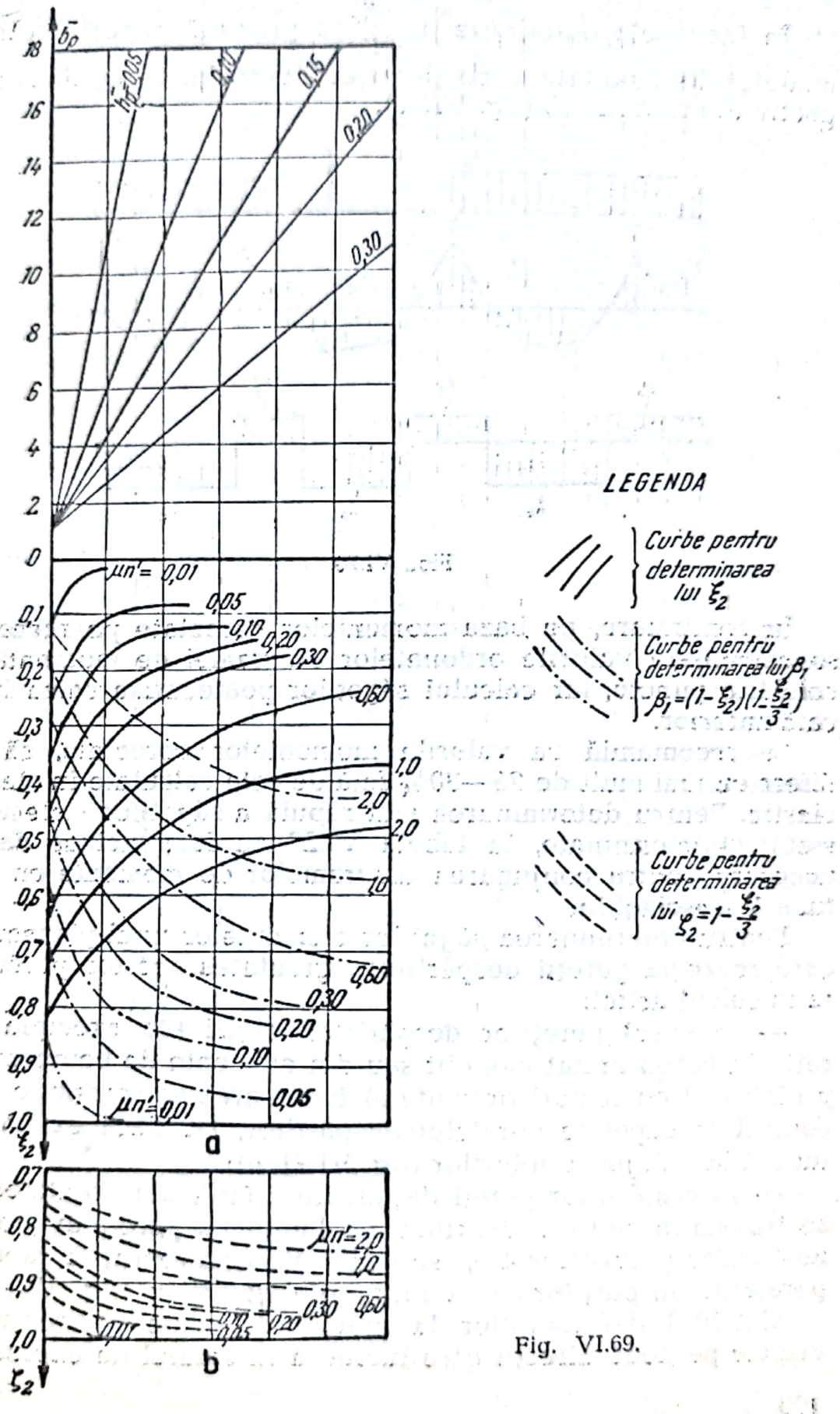

$\bar{b}_0$
$\bar{b}_0=0,05$
0,10
0,15
0,20
0,30
$\mu n'=0,01$
0,05
0,10
0,20
0,30
0,60
1,0
2,0
2,0
1,0
0,60
0,30
0,20
0,10
0,05
$\mu n'=0,01$
ξ_2
a
$\mu n'=2,0$
1,0
0,60
0,30
0,20
0,10
0,05
$\mu n'=0,01$
ξ_2
b
LEGENDA
Curbe pentru determinarea lui ξ_2
Curbe pentru determinarea lui β_1
$\beta_1=(1-\xi_2)(1-\frac{\xi_2}{3})$
Curbe pentru determinarea lui $\varphi=1-\frac{\xi_2}{3}$

Fig. VI.69.

În formulele anterioare $k = \frac{K_c}{K_r}$ reprezintă raportul dintre modulul de rigiditate al secțiunii cu fisuri din cîmp, K_c și respectiv din reazem, K_r (fig. VI.70).

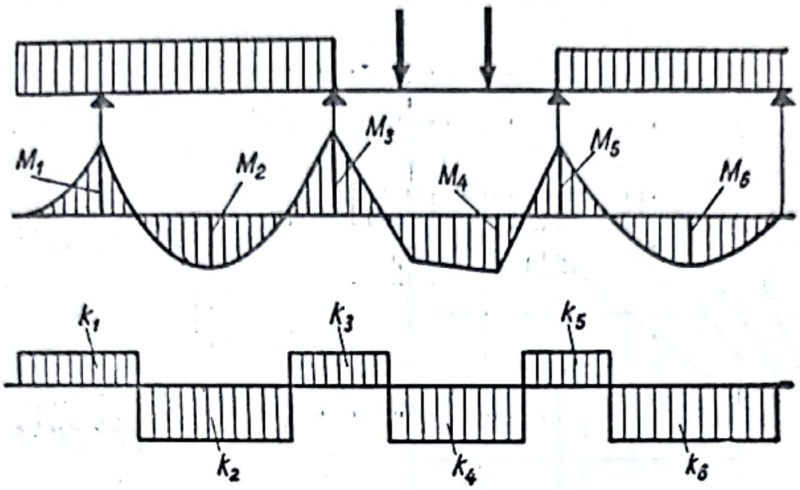


Fig. VI.70.

În continuare, pe baza momentelor corectate pe reazeme, se calculează valorile ordonatelor diagramei de momente în celelalte puncte, iar calculul săgeților poate urma calea indicată anterior.

Se recomandă ca valorile momentelor corectate, să nu difere cu mai mult de 25—30% față de cele calculate în stadiul elastic. Pentru determinarea mai rapidă a săgeților sistemelor static nedeterminate, în tabela VI.23 au fost incluse datele necesare pentru conjugarea diagramelor de momente cu metoda Veresciaghin.

Pentru determinarea săgeților elementelor unui planșeu pe care reazemă pereții despărțitori, greutatea acestor pereți se ia în calcul astfel:

— în cazul pereților despărțitori rigizi (de exemplu pereți din beton armat monolit sau din elemente de beton armat prefabricat cu rosturi orizontale) încărcarea se transmite concentrat la capetele peretelui despărțitor, iar dacă există goluri, și la marginea golurilor (fig. VI.71, *a*);

— în cazul altor pereți despărțitori, 60% din greutatea lor se transmite uniform distribuit pe lungimea peretelui (porțiunea dintre goluri) iar 40% se transmite concentrat la capetele peretelui despărțitor și la marginile golurilor (fig. VI.71, *b*).

Calculul deformațiilor la plăcile rezemate pe contur și armate pe două direcții care lucrează în stadiul de exploatare

Scanned with OKEN Scanner

M_l \ M_k	k — s — k	k — s — 0	k_1 — s — k_2
i — s — i	sik	$\frac{1}{2}sik$	$\frac{1}{2}si(k_1+k_2)$
s — i	$\frac{1}{2}sik$	$\frac{1}{3}sik$	$\frac{1}{6}si(k_1+2k_2)$
i — s — 0	$\frac{1}{2}sik$	$\frac{1}{6}sik$	$\frac{1}{6}si(2k_1+k_2)$
i_1 — s — i_2	$\frac{1}{2}s(i_1+i_2)k$	$\frac{1}{6}s(i_1+2i_2)k$	$\frac{1}{6}s(2i_1k_1+i_1k_2+i_2k_1+2i_2k_2)$
i_m — s	$\frac{2}{3}si_mk$	$\frac{1}{3}si_mk$	$\frac{1}{3}si_m(k_1+k_2)$
s — i	$\frac{2}{3}sik$	$\frac{5}{12}sik$	$\frac{1}{12}si(3k_1+5k_2)$
i — s — 0	$\frac{2}{3}sik$	$\frac{1}{4}sik$	$\frac{1}{12}si(5k_1+3k_2)$
s — i	$\frac{1}{3}sik$	$\frac{1}{4}sik$	$\frac{1}{12}si(k_1+3k_2)$
i — s — 0	$\frac{1}{3}sik$	$\frac{1}{12}sik$	$\frac{1}{12}si(3k_1+k_2)$
i_1 i_2 i_3 — s — i_2	$\frac{1}{6}sk(i_1+i_2+4i_3)$	$\frac{1}{6}sk(i_2+2i_3)$	$\frac{1}{6}s(k_1i_1+4k_3i_3+k_2i_2)$
i — αs — s — βs	$\frac{1}{2}sik$	$\frac{1}{6}s(1+\alpha)ik$	$\frac{1}{6}si[(1+\beta)k_1+(1+\alpha)k_2]$
i i — ξs — s — ξs — ξs	$ikxs$	$\frac{1}{2}ikxs$	$\frac{1}{2}i(k_1+k_2)\xi s$
$\int k^2 ds$	sk^2	$\frac{1}{3}sk^2$	$\frac{1}{3}s(k_1^2+k_2^2+k_1k_2)$

$\frac{1}{15}$

Scanned with OKEN Scanner

Tabelă pentru calculul integralei Mohr $\int_s M_i M_k \, ds$

Tabela VI.23

$\frac{2}{3} sik_m$	$\frac{2}{3} sik$	$\frac{1}{3} sik$	$\frac{1}{2} sik$
$\frac{1}{3} sik_m$	$\frac{5}{12} sik$	$\frac{1}{4} sik$	$\frac{1}{6} s(1+\alpha)\, ik$
$\frac{1}{3} sik_m$	$\frac{1}{4} sik$	$\frac{1}{12} sik$	$\frac{1}{6} s(1+\beta)\, ik$
$\frac{1}{3} s(i_1+i_2)\, k_m$	$\frac{1}{12} s(3i+5i_2)\, k$	$\frac{1}{12} s(i_1+3i_2)\, k$	$\frac{1}{6} sk[(1+\beta)\, i_1+(1+\alpha)\, i_2]$
$\frac{8}{15} si_m k_m$	$\frac{7}{15} si_m k$	$\frac{1}{5} si_m k$	$\frac{1}{3} (1+\alpha\beta)\, i_m k$
$\frac{7}{15} sik_m$	$\frac{8}{15} sik$	$\frac{3}{10} sik$	$\frac{1}{12} s(5-\beta-\beta^2)\, ik$
$\frac{7}{15} sik_m$	$\frac{11}{30} sik$	$\frac{2}{15} sik$	$\frac{1}{12} s(5-\alpha-\alpha^2)\, ik$
$\frac{1}{5} sik_m$	$\frac{3}{10} sik$	$\frac{1}{5} sik$	$\frac{1}{12} s(1+\alpha+\alpha^2)\, ik$
$\frac{1}{5} sik_m$	$\frac{2}{15} sik$	$\frac{1}{30} sik$	$\frac{1}{12} s(1+\beta+\beta^2)\, ik$
$\frac{1}{15} sk_m(5i_1+5i_2+i_4)$	$\frac{1}{60}(15i_1+25i_2+28i_4)\, ks$	$\frac{1}{60} sk(15i_2+5i_1+12i_4)$	$\frac{ks}{6}[i_1(1+\beta)+i_2(1+\alpha)+2i_4(1+\alpha\beta)]$
$\frac{1}{3} s(1+\alpha\beta)\, ik_m$	$\frac{1}{12} s(5-\beta-\beta^2)\, ik$	$\frac{1}{12} s(1+\alpha+\alpha^2)\, ik$	$\frac{1}{3} sik$
$\frac{2}{3} k_m i\xi s(1+\xi\xi')$	$\frac{1}{6} ki[4+\xi'(\xi'^2-2\xi'-3)]\, s$	$\frac{1}{6} s[2-\xi'(3-2\xi'+\xi'^2)]\, ik$	$\begin{cases} \alpha<\xi' & ; \frac{iks}{6\beta}\left(3-3\xi'-\frac{\alpha^2}{\xi'}\right); \\ \alpha>\xi' & ; \frac{iks}{6}\left(3-\frac{\xi'^2}{\alpha\beta}\right); \end{cases}$
$\frac{8}{15} sk_m^2$	$\frac{8}{15} sk^2$	$\frac{1}{5} sk^2$	$\frac{1}{3} sk^2$

Scanned with OKEN Scanner

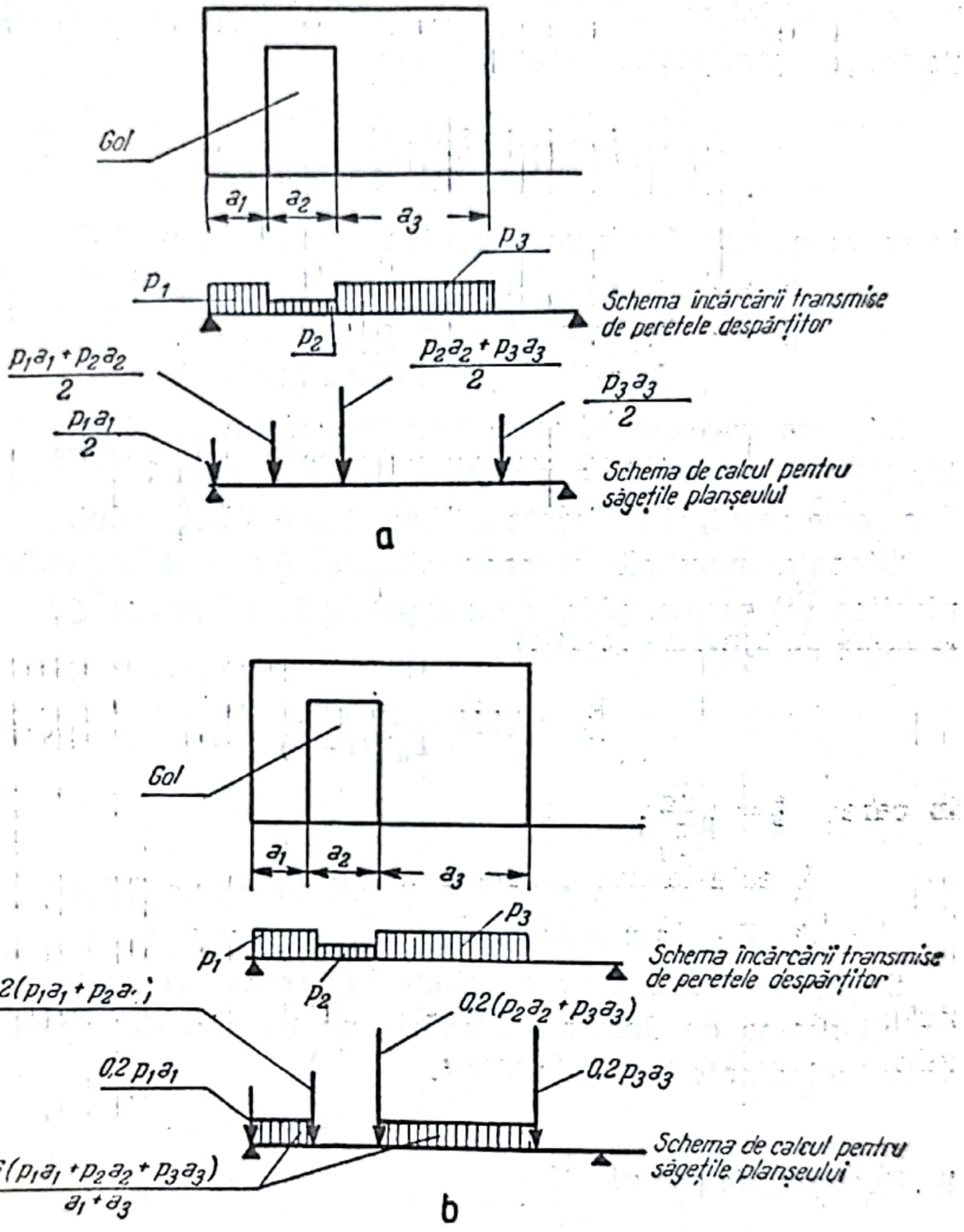


Fig. VI.71.

cu fisuri, nu poate fi efectuat cu relațiile de calcul exprimate pentru sistemele de bare.

Instrucțiunile sovietice pentru calculul sistemelor static nedeterminate recomandă un calcul aproximativ al acestor

Scanned with OKEN Scanner

săgeți pe baza interpolării liniare dintre săgeata corespunzătoare apariției primelor fisuri și săgeata plăcii în stadiul II-a (la formarea articulațiilor plastice) cu relația

$$f = f_f + (f_r - f_f)\frac{q - q_f}{q_r - q_f} \qquad \text{(VI.200)}$$

în care: q este încărcarea pentru care se determină săgeata;
q_f — încărcarea corespunzătoare apariției fisurilor;
q_r — încărcarea care provoacă formarea liniilor de articulație plastică în placă.

Săgeata corespunzătoare momentului de apariție a fisurilor (f_f) se determină ca pentru o placă omogenă considerînd, dacă este cazul, și influența curgerii lente a betonului.

Săgeata maximă corespunzătoare formării articulațiilor plastice (f_r) pentru plăcile cu raportul laturilor $l_2/l_1 \leqslant 3$ se determină cu ajutorul relației

$$f_r = 0{,}141\,\frac{i^2 R_a}{E_a h_0 (1 - \xi)} \qquad \text{(VI.201)}$$

în care: $\xi = \mu\frac{R_a}{R_t}$;

l_1 este latura scurtă a plăcii dreptunghiulare;
l_2 — latura lungă a plăcii dreptunghiulare.

Săgețile elementelor solicitate la încovoiere, determinate ținînd seama de durata încărcării, nu trebuie să depășească valorile indicate în tabela VI.24.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul VI.44. Să se determine săgeata unei grinzi prefabricate din cadrul planșeului unei hale industriale avînd deschiderea de calcul $l_0 = 4{,}8$ m, secțiunea dreptunghiulară $b = 30$ cm, $h = 70$ cm, $h_0 = 63$ cm, încărcarea normată de lungă durată $g^n = 3{,}65$ tf/m și încărcarea de scurtă durată $p^n = 11{,}85$ tf/m.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VI.24

Săgeţile limită ale elementelor de beton armat

Nr. crt.	Denumirea elementelor	Săgeţile limită în fracţiuni din deschiderea elementului, f/l
1	Grinzile căilor de rulare:	
	a) pentru poduri rulante manuale	1/500
	b) pentru poduri rulante electrice	1/700
2	Planşee cu tavane plane şi planşee de acoperiş ale construcţiilor industriale	
	a) pentru deschiderea $l<7$ m	1/200
	b) pentru deschiderea $l \geqslant 7$ m	1/300
3	Planşee şi scări cu nervuri	
	a) pentru deschiderea $l<5$ m	1/200
	b) pentru deschiderea $5\ \text{m} \leqslant l < 7\ \text{m}$	1/300
	c) pentru deschiderea $l \geqslant 7$ m	1/400

Observaţie. La planşeele tencuite, săgeata produsă de încărcarea temporară nu trebuie să depăşească $\frac{1}{350} l$.

Grinda se execută cu beton de marcă B 300 şi cu armătură din oţel PC 60, $5 \varnothing 30$ mm, $A_a = 35{,}34$ cm^2. Se apreciază că valoarea caracteristicii deformaţiilor în timp $\varphi = 2{,}7$.

$$v = \frac{g^n}{g^n + p^n} = \frac{3{,}65}{15{,}50} = 0{,}236; \quad \mu = \frac{A_a}{bh_0} = 0{,}0187.$$

Coeficientul de echivalenţă, ţinînd seamă de încărcările de lungă durată, se determină cu ajutorul relaţiei (VI.189)

$$n' = \frac{E_a}{E_b}\left(1 + \mu\frac{R_a}{40}\right)(1 + v\varphi) =$$

$$= \frac{2\,100\,000}{315\,000}\left(1 + 0{,}0187\,\frac{3\,400}{40}\right)(1 + 0{,}236 \times 2{,}7) = 28{,}2$$

$$\xi_2 = \mu n'\left(\sqrt{1 + \frac{2}{n'\mu}} - 1\right) =$$

$$= 0{,}0187 \times 28{,}2\left(\sqrt{1 + \frac{2}{0{,}0187 \times 28{,}2}} - 1\right) = 0{,}63$$

$$\zeta_2 = 1 - \frac{\xi_2}{3} = 1 - \frac{0{,}63}{3} = 0{,}790.$$

$$\sigma_a = \frac{M^n_{max}}{A_a \xi_2 h_0} = \frac{4\,500\,000}{35{,}34 \times 0{,}79 \times 63} = 2\,575\ \text{kgf/cm}^2 < R_a$$

$$\overline{\beta} = 0{,}3(1 - 0{,}5 \times 0{,}236) = 0{,}265.$$

Scanned with OKEN Scanner

Considerînd că în momentul apariției fisurilor axa neutră trece prin centrul de greutate al secțiunii de beton se obține

$$A_{bt} = \frac{bh}{2} = \frac{30 \times 70}{2} = 1\,050 \text{ cm}^2$$

$$\psi = 1 - \overline{\beta} \frac{A_{bt} R_t^n}{A_a \sigma_a} = 1 - 0{,}265 \frac{1\,050 \times 21}{35{,}34 \times 2\,575} = 0{,}935$$

$$\beta_1 = (1 - \xi_2)\, \zeta_2 = (1 - 0{,}63)\, 0{,}79 = 0{,}37 \times 0{,}79 = 0{,}292$$

$$K = \frac{E_a}{\psi} A_a \beta_1 h_0^2 = \frac{2\,100\,000}{0{,}935} \times 35{,}34 \times 0{,}292 \times 63^2 =$$

$$= 9{,}2 \times 10^{10} \text{ kgf/cm}^2.$$

Săgeata se determină cu ajutorul relației (VI.191)

$$f = S \frac{M_{max}^n}{K} l_0^2 = \frac{5}{48} \frac{4\,500\,000}{9{,}2 \times 10^{10}} 480^2 = 1{,}17 \text{ cm}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{1{,}17}{480} = \frac{1}{410} < \frac{1}{200}.$$

Acest calcul mai poate fi efectuat folosind nomogramele din fig. VI.68 și 69.

Pentru $n'\mu = 0{,}0187 \times 28{,}2 = 0{,}527$ se deduce

$$\beta_1 = 0{,}32$$

În nomograma din fig. VI.68 pentru $\overline{A} = 0$; B 300; $\nu = 0{,}236$ se determină $\psi = 0{,}94$

Rezultă $K = \frac{2\,100\,000}{0{,}94} 35{,}34 \times 0{,}32 \times 63^2 = 10{,}05 \times 10^{10}$

$$f = \frac{5}{48} \frac{4\,500\,000}{10{,}05 \times 10^{10}} \times 480^2 = 1{,}07 \text{ cm}.$$

Exemplul VI.45. Să se determine săgeata fîșiei cu goluri ovale din fig. VI.72 pentru un planșeu prefabricat al unei clădiri de locuit cunoscîndu-se lungimea de calcul a fîșiei $l_0 = 5{,}75$ m; înălțimea secțiunii $h = 22$ cm, $h_0 = 19{,}2$ cm; lățimea fîșiei $b_p = 175$ cm; armătura din PC 52, $4 \varnothing 12 + 4 \varnothing 16$, $A_a = 12{,}56$ cm^2; betonul de marcă B 200; încărcarea normată de lungă durată $g^n = 965$ kgf/m; încărcarea normată de scurtă durată $p^n = 265$ kgf/m; caracteristica deformațiilor în timp $\varphi = 2{,}8$.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru determinarea dimensiunilor secțiunii transversale echivalente se consideră că lățimea unui gol oval poate fi echivalentă cu 0,95 b_1 iar înălțimea egală cu 0,95 h_1 măsurată la bază.

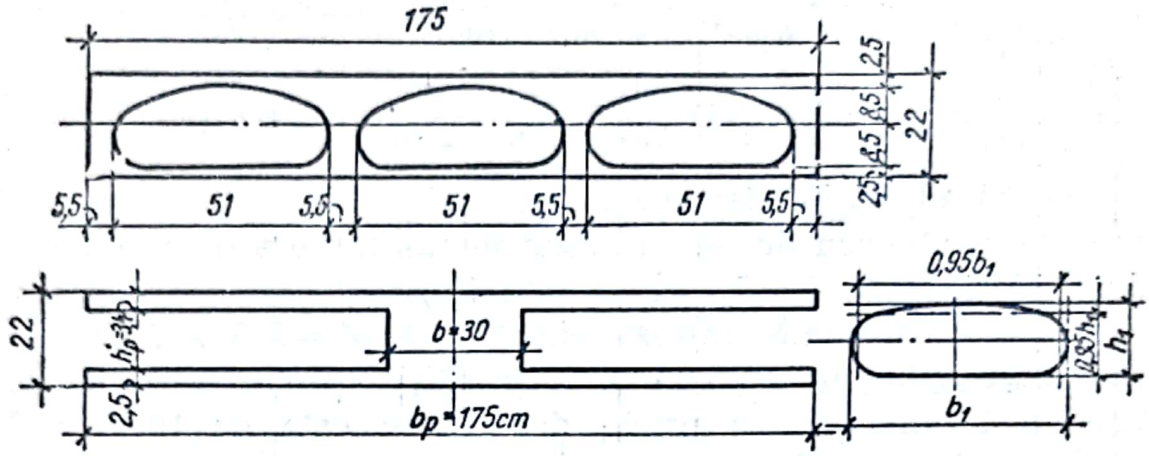


Fig. VI.72.

În acest caz, lățimea inimii secțiunii echivalente va fi:

$b=175-0{,}95\times3\times51=30$ cm (v. fig. VI.72).

Înălțimea plăcii superioare $h_p=22-2{,}5-0{,}95\times17=3{,}4$ cm.

Cunoscînd $v=\dfrac{g^n}{g^n+p^n}=\dfrac{965}{1\,230}=0{,}785$

$$\frac{A_a}{bh_0}=\frac{12{,}56}{30\times19{,}2}=0{,}0215$$

Se determină coeficientul de echivalență cu relația (VI.189)

$$n'=\frac{E_a}{E_b}\left(1+\mu\frac{R_a}{40}\right)(1+v\varphi)=\frac{2\,100\,000}{290\,000}\left(1+\frac{0{,}021\times2\,900}{48}\right)=41{,}5$$

și pentru $\mu n'=0{,}0215\times41{,}5=0{,}892$

$$\bar{b}_p=\frac{b_p}{b}=\frac{175}{30}=5{,}85;\quad \bar{h}_p=\frac{h_p}{h_0}=\frac{3{,}4}{19{,}2}=0{,}177$$

$$\bar{A}=\frac{b_p-b}{b}\bar{h}_p=0{,}855.$$

În nomogramele din fig. VI.67 și VI.69 rezultă $\beta_1=0{,}45$ și $\psi=0{,}96$.

Modulul de rigiditate $K=\dfrac{1}{\psi}E_a A_a \beta_1 h_0^2=\dfrac{1}{0{,}96}\times$

$\times2\,100\,000\times12{,}56\times0{,}45\times19{,}2^2=4{,}78\times10^9$ kgf/cm².

Scanned with OKEN Scanner

Momentul maxim $M^n_{max}=\frac{0{,}6\times 12{,}3\times 575^2}{8}=3{,}04\times 10^5$ kgf/cm.

Săgeata maximă se determină cu ajutorul relației (VI.191)

$$f=\frac{5}{48}\frac{M^n_{max}}{K}l_0^2=\frac{5}{48}\frac{3{,}04\times 10^5}{4{,}78\times 10^9}575^2=2{,}18 \text{ cm}$$

$$\frac{f}{l}=\frac{2{,}18}{575}=\frac{1}{266}<\frac{1}{200}.$$

Exemplul VI.46. Să se calculeze săgeata maximă în nervura unui planșeu de beton armat monolit. Nervura are șapte deschideri egale $l_0=5{,}2$ m și este încărcată cu o încărcare permanentă normată uniform distribuită $g^n=965$ kgf/m și o încărcare utilă normată mobilă $p^n=825$ kgf/m. Secțiunea de armătură maximă din prima deschidere este de 10,05 cm² (6 ∅ 16), iar pe al doilea reazem de la margine este de 13,44 cm².

Caracteristicile secțiunii sînt $b_p=220$ cm, $b=22$ cm, $h=45$ cm, $h_p=8$ cm, $h_0=41$ cm, betonul este de marcă B 150 iar armătura OL 38.

Pentru efectuarea calculului este necesar să se afle rigiditatea minimă din cîmp și pe reazeme cu relația (VI.192)

$$K=\frac{E_a}{\psi}A_a\beta_1 h_0^2.$$

Pentru determinarea coeficientului β_1 este necesară aflarea prealabilă a coeficientului de echivalență n' cu relația

$$n'=\frac{E_a}{E_b}\left(1+\mu\frac{R_a}{40}\right)(1+v\bar{\varphi}).$$

Se ia $\bar{\varphi}=2{,}9$ iar $v=\frac{965}{1\,790}=0{,}54$.

Procentul de armare raportat la inima grinzii este egal în cîmp cu $\mu=\frac{10{,}05}{22\times 41}=0{,}0111$ iar pe reazem $\mu=\frac{13{,}44}{902}=0{,}0149$.

Coeficienții de echivalență devin

— în cîmp $n'=\frac{2\,100\,000}{230\,000}\left(1+0{,}0111\frac{2\,100}{40}\right)(1+0{,}54\times 2{,}9)=$

$=9{,}14\times 2{,}565(1+0{,}58)=37{,}0$

— pe reazem $n' = 9{,}14 \times 2{,}565 \left(1 + 0{,}0149 \frac{2\,100}{40}\right) =$

$$= 9{,}14 \times 2{,}565 \times 1{,}783 = 41{,}9.$$

În cîmp placa se află în zona comprimată iar pe reazem în zona întinsă.

Folosind nomograma din figura VI.69 pentru $b_p = \frac{b_p}{b} = 10$;

$$\bar{h}_p = \frac{h_p}{h_0} = \frac{8}{41} = 0{,}195$$

$n'\mu = 37 \times 0{,}0111 = 0{,}41$; $\beta_1 = 0{,}74$ pentru o secțiune T, (în cîmp) iar pentru o secțiune dreptunghiulară, (pe reazem)

$$n'\mu = 41{,}9 \times 0{,}0149 = 0{,}625;\ \beta_1 = 0{,}28$$

considerînd $\psi = 1$.

Modulii de rigiditate devin

$$K_c = 2{,}1 \times 10^6 \times 10{,}05 \times 41^2 \times 0{,}74 = 2{,}62 \times 10^{10}\ \text{kgf/cm}^2;$$

$$K_r = 2{,}1 \times 10^6 \times 13{,}44 \times 41^2 \times 0{,}28 = 1{,}33 \times 10^{10}\ \text{kgf/cm}^2.$$

Raportul rigidităților din cîmp și de pe reazeme devine în prima deschidere

$$k = \frac{K_c}{K_r} = \frac{2{,}62 \times 10^6}{1{,}33 \times 10^6} = 1{,}97.$$

Coeficienții de corecție pentru momentele de pe reazem într-o deschidere intermediară, conform paragrafului precedent, devin

$$\delta = \frac{3}{2 + k} = \frac{3}{2 + 1{,}97} = 0{,}76$$

iar pentru reazemul intermediar al unei grinzi cu două deschideri

$$\delta = \frac{1{,}5}{0{,}5 + k} = \frac{1{,}5}{0{,}5 + 1{,}97} = \frac{1{,}5}{2{,}47} = 0{,}61.$$

Pentru reazemul al doilea de la margine, în cazul grinzii solicitate de încărcări uniform distribuite, coeficientul de corecție al diagramei de momente este egal cu media aritmetică a celor două valori obținute

$$\delta = \frac{0{,}76 + 0{,}61}{2} = 0{,}7.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a se ține seama de redistribuirea eforturilor după fisurare, momentul de pe reazem, obținut prin calcul efectuat pe baza ipotezelor mecanicii construcțiilor, se corectează cu coeficienții de corecție.

În cazul de față, corectarea se efectuează numai pentru momentul de pe cel de-al doilea reazem de la margine, deoarece deformația se calculează numai în prima deschidere, unde săgeata este maximă.

Pentru încărcarea cea mai defavorabilă pentru săgeata maximă din prima deschidere, momentele se obțin cu relațiile

$$M_1 = (0{,}078\, g^n + 0{,}100\, p^n)\, l_0^2 = (0{,}078 \times 965 + 0{,}100 \times 825)\, 5{,}2^2 =$$

$$= (55{,}4 + 82{,}5)\, 27 = 3\,720 \text{ kgf/m (fig. VI.73)}$$

$$M_B = (0{,}105\, g^n + 0{,}053\, p^n)\, l_0^2 = (0{,}105 \times 965 + 0{,}053 \times 825)\, 5{,}2^2 =$$

$$= 3\,910 \text{ kgf/m.}$$

Corectînd valoarea momentului de pe reazem se obține

$$M_B = \delta\, M_B = 0{,}7 \times 3\,910 = 2\,740 \text{ kgf/m.}$$

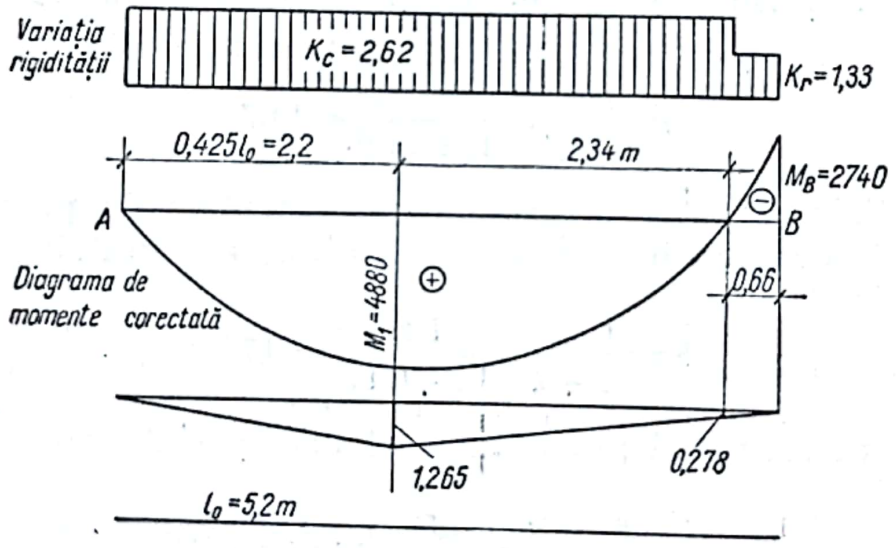


Fig. VI.73.

Considerînd că ordonata maximă a momentului din cîmpul marginal se află la o distanță egală cu 0,425 l_0 de reazemul exterior, se obține valoarea momentului din cîmp

$$M_1 = -\frac{M_B}{l_0}\, 0{,}425 l_0 + \frac{q l_0^2}{8} = -2\,740 \times 0{,}425\, \frac{1\,790 \times 5{,}2^2}{8} =$$

$$= 4\,880 \text{ kgf/m.}$$

Scanned with OKEN Scanner

Secțiunea de moment nul se poate determina cu relația

$$x = \frac{l_0}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{l_0}{2}\right)^2 - 2\frac{M_B}{q}} = 2{,}6 \pm \sqrt{6{,}76 - 2\frac{2\,740}{1\,790}} = 0{,}66 \text{ m}.$$

Pentru determinarea săgeții din secțiunea cu moment maxim se ia diagrama de momente finală corectată și se conjugă cu diagrama de momente produsă de o sarcină unitară aplicată în secțiunea amintită pe sistemul de bază. Valorile vor fi împărțite pe fiecare porțiune de grindă la modulii de rigiditate corespunzători (v. fig. VI.73).

Pentru calculul integralei lui Mohr se folosește metoda Vereșciaghin conform tabelei VI.23.

$$f = \left[\frac{5}{12} 2{,}2 \times 4\,880 + \frac{1}{12} 4\,880\,(5 \times 0{,}278 + 3 \times 1{,}265)\right] \frac{10^{-6}}{2{,}62} -$$

$$- \frac{1}{12} \times 0{,}66 \times 0{,}278 \times 2\,740 \frac{1}{1{,}33 \times 10^6} = (4\,480 + 4\,930) \frac{10^{-6}}{2{,}62} -$$

$$- \frac{419 \times 10^{-6}}{1{,}33} = 0{,}362 - 0{,}00315 = 0{,}359 \text{ cm}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{0{,}359}{520} = \frac{1}{1\,450} < \frac{1}{200}.$$

Exemplul VI.47. Să se determine săgeata maximă sub încărcări de exploatare într-o nervură de planșeu monolit cu 10 deschideri egale cunoscînd deschiderea de calcul pentru fiecare tronson $l_0 = 5{,}0$ m; încărcarea permanentă normată $g^n = 500$ kgf/m; încărcarea utilă normată $p^n = 400$ kgf/m; $b_p = 200$ cm, $b = 15$ cm, $h = 40$ cm, $h_0 = 36{,}5$ cm și $h_p = 6$ cm.

Armătura longitudinală, OL 38,

— în primul cîmp, 3 ∅ 14 mm, $A_a = 4{,}61$ cm²; $\mu = \frac{A_a}{bh_0} = 0{,}0084$;

— pe al doilea reazem, 3 ∅ 14 mm; $A_a = 4{,}61$ cm²;

— în cîmpurile și reazemele intermediare, 2 ∅ 14 mm, $A_a = 3{,}08$ cm². Se apreciază că $\varphi = 2{,}5$ iar $v = 0{,}55$.

Calculul se efectuează numai pentru deschiderea marginală unde săgeata probabilă este cea mai mare.

Schema cea mai defavorabilă de încărcare este indicată în fig. VI.74.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru determinarea modulului de rigiditate sînt necesari parametrii β_1 și ψ.

$$n' = \frac{E_a}{E_b}\left(1 + \mu\frac{P_a}{40}\right)(1 + v\bar{\varphi}) =$$

$$= \frac{2\,100\,000}{265\,000}\left(1 + 0{,}0084\,\frac{2\,100}{40}\right)(1 + 0{,}55 \times 2{,}5) = 27$$

$$n'\mu = 0{,}0084 \times 27 = 0{,}227;\ \bar{b}_p = \frac{b_p}{b} = \frac{200}{15} = 13{,}32$$

$$\bar{A} = \frac{b_p - b}{b}\,\frac{h_p}{h} = \frac{200 - 15}{15}\,\frac{6}{40} = 1{,}85.$$

În nomograma din fig. VI.65 și VI.69 se determină pentru secțiunea din cîmp ($\bar{A} = 1{,}85$) și pentru reazem ($\bar{A} = 0$)

$\beta_1 = 0{,}78$; $\psi = 0{,}9$ (în cîmp);

$\beta_1 = 0{,}4$; $\psi = 0{,}93$ (pe reazem).

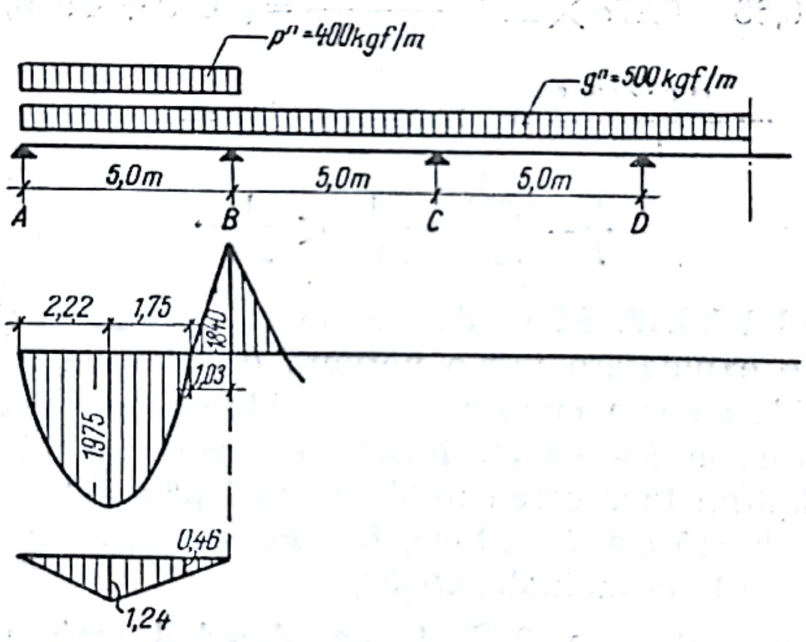


Fig. VI.74.

Modulul de rigiditate

$$K_c = \frac{E_a}{\psi} A_a \beta_1 h_0^2 = \frac{2\,100\,000}{0{,}9}\,4{,}61 \times 0{,}78 \times 36{,}50^2 =$$

$$= 11{,}2 \times 10^9 \text{ kgf/cm}^2$$

$$K_r = \frac{2\,100\,000}{0{,}93}\,4{,}61 \times 0{,}4 \times 36{,}5^2 = 5{,}54 \times 10^9 \text{ kgf/cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Determinînd momentele maxime cu incărcările normate cele mai defavorabile (fig. VI.74) fără a mai considera redistribuirea

$$M_1 = 1\,975 \text{ kgfm (în cîmp).}$$
$$M_B = 1\,840 \text{ kgfm (pe reazem).}$$

Se calculează punctul de anulare a momentelor

$$\frac{qlx}{2} - q\frac{x^2}{2} - M_B = 0$$

$$x = \frac{l - \sqrt{l^2 - 8\frac{M_B}{q}}}{2} = \frac{5 - \sqrt{25 - 8\frac{1\,840}{900}}}{2} = 1{,}03 \text{ m.}$$

Folosind indicațiile din tabela VI.23 se calculează săgeata maximă ca rezultat al operațiilor de conjugare dintre diagrama de momente reală și cea unitară, pe sistemul de bază, considerîndu-se modulii de rigiditate determinați pentru fiecare tronson de grindă.

$$f_{max} = \frac{5}{12}\frac{222 \times 197\,500 \times 124}{11{,}2 \times 10^9} + \frac{1}{12}\frac{222 \times 197\,500\,(3 \times 46 + 5 \times 124)}{11{,}2 \times 10^9} -$$

$$- \frac{1}{12}\frac{103 \times 184\,000 \times 46}{5{,}5 \times 10^9} = 0{,}203 + 0{,}248 - 0{,}0136 = 0{,}437 \text{ cm.}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{0{,}437}{500} = \frac{1}{1\,150} < \frac{1}{200}.$$

Considerînd prima deschidere ca o grindă simplu rezemată, săgeata ar fi fost

$$f = S\frac{M_{max}\,l^2}{K_c} = \frac{5}{48}\frac{ql^4}{K_c 8} = \frac{5}{384}\frac{9{,}00 \times 6{,}25 \times 10^{10}}{11{,}2 \times 10^9} = 0{,}655 \text{ cm.}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{0{,}655}{500} = \frac{1}{764} < \frac{1}{200}.$$

Exemplul VI.48. Să se determine săgeata maximă a unei plăci armate pe două direcții, simplu rezemată pe zidurile purtătoare de pe conturul său, cunoscînd $l_1 = 4{,}5$ m; $l_2 = 5{,}0$ m; $g^n = 365$ kgf/m^2; $p^n = 500$ kgf/m^2; $h = 14$ cm; $h_0 = 12$ cm; beton B 150.

Armătura pe un metru lățime de placă se compune din 12 ∅ 8 mm, $A_a = 6{,}05$ cm^2, pe direcția l_1 și 10 ∅ 8/m, $A_a = 5{,}03$ cm^2, pe direcția l_2.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru o placă simplu rezemată pe contur cu raportul $\frac{l_1}{l_2} = \frac{4,5}{5,0} = 0,9$, momentele pe cele două direcții în stadiul elastic după V. G. Galiorkin sînt

$$M_1 = 46 \times 10^{-3}\ q l_1^2 = 46 \times 10^{-3} \times 450^2\ q = 9\,350\ q$$

$$M_2 = 6 \times 10^{-3}\ q l_1^2 = 7\,300\ q$$

iar săgeata maximă este $f = \frac{50 \times 12 \times 0,975}{10^4}\ \frac{q l_1^4}{E_b h^3} = 0,0584\ \frac{q l_1^4}{E_b h^3}$.

Echivalînd momentul maxim cu momentul de fisurare determinat ca pentru un element din beton simplu cu lățimea de 100 cm se obține

$$M_f = \frac{bh^2}{3,5} R_t^n = 1\ \frac{14^2}{3,5}\ 13 = 725 \text{ kgfcm/cm}$$

iar încărcarea de fisurare

$$q_f = \frac{725}{9\,350} = 0,0778 \text{ kgf/cm}^2.$$

Săgeata corespunzătoare acestei încărcări

$$f_f = 0,0584 \frac{0,0778 \times 450^4}{230\,900 \times 2\,700} = 0,3 \text{ cm}.$$

Săgeata corespunzătoare formării articulației plastice va fi

$$f_r = 0,141\ \frac{l_1^2 R_a}{E_a h_0 (1 - \xi)} = 0,141\ \frac{450^2 \times 2\,100}{2,1 \times 10^6 \times 12(1 - 0,116)} =$$

$$= \frac{0,141 \times 202\,500 \times 2\,100}{2,1 \times 10^6 \times 10,6} = 2,70 \text{ cm}$$

unde $\xi = \frac{6,05}{100 \times 12}\ \frac{R_a}{R_i} = 0,0005\ \frac{2\,100}{80} = 0,116.$

Încărcarea corespunzătoare formării liniilor de articulație plastică în placa simplu rezemată se determină cu ajutorul relațiilor de calcul al plăcii în starea de echilibru limită conform indicațiilor STAS 3599-52.

Potrivit acestor indicații pentru o placă simplu rezemată pe contur calculul se efectuează cu relația

$$\frac{q_r l_1^2}{12}(3 l_2 - l_1) = 2 M_1 + 2 M_2$$

Scanned with OKEN Scanner

în care $M_1 = A_{a1}\, R_a\, z$

$M_2 = A_{a2}\, R_a\, z$; $z = 0{,}9\, h_0 = 10{,}8$ cm.

A_{a1} și A_{a2} reprezintă armătura totală intersectată de liniile articulațiilor plastice pe fiecare direcție.

Pentru simplificare, se consideră că în fîșiile marginale se așază aceeași armătură

$$A_{a1} = 6{,}05 \times 5 = 30{,}25 \text{ cm}^2;\ A_{a2} = 5{,}03 \times 4{,}5 = 22{,}6 \text{ cm}^2.$$

În acest caz:

$$M_1 = 30{,}25 \times 2\,100 \times 10{,}8 = 687\,000 \text{ kgf/cm};$$

$$M_2 = 22{,}60 \times 2\,100 \times 10{,}8 = 515\,000 \text{ kgfcm}.$$

Se obține

$$q_r \frac{450^2}{12}(3 \times 500 - 450) = 1\,374\,000 + 1\,030\,000 = 2\,404\,000 \text{ kgfcm}$$

încărcarea corespunzătoare formării articulațiilor plastice

$$q_r = \frac{2\,404\,000 \times 12}{450^2 \times 1\,050} = \frac{2\,404\,000 \times 12}{202\,500 \times 1\,050} = 0{,}137 \text{ kgf/cm}^2.$$

Ținînd seamă și de încărcările de durată, săgeata poate fi determinată cu ajutorul relației (VI.200)

$$f = f_l + (f_r - f_l)\frac{q'' - q_l}{q_r - q_l}(1 + v\bar{\varphi})$$

unde

$$f_l = 0{,}3 \text{ cm};\ f_r = 2{,}70 \text{ cm};\ q_l = 0{,}0778;\ q_r = 0{,}137.$$

$$v = \frac{365}{865} = 0{,}42;\ \bar{\varphi} = 3;\ (1 + \bar{\varphi}\, v) = 1 + 1{,}26 = 2{,}26$$

și introducînd valorile corespunzătoare în formula precedentă se obține săgeata maximă din placă.

Săgeata instantanee

$$f = 0{,}3 + (2{,}7 - 0{,}3)\frac{0{,}0865 - 0{,}0778}{0{,}137 - 0{,}0778} = 0{,}6 \text{ cm}.$$

Săgeata de lungă durată pentru încărcări

$$f = 0{,}6(1 + v\,\bar{\varphi}) = 0{,}600 \times 2{,}26 = 1{,}36 \text{ cm}.$$

$$\frac{f}{l} = \frac{1{,}36}{450} = \frac{1}{330} < \frac{1}{200} = 2{,}25 \text{ cm}.$$

3. Calculul fisurării elementelor încovoiate

a. *Relaţii de calcul*

Construcţiile de beton armat lucrează în stadiul de exploatare cu fisuri, de aceea dispare necesitatea calculului momentului de apariţie a fisurilor, fiind necesară numai limitarea deschiderii acestora, în funcţie de mediul înconjurător şi de condiţiile cerute de o exploatare normală.

Normativul P.8-62 limitează deschiderea fisurilor pentru elementele încovoiate la următoarele valori:

— 0,10 mm, pentru elementele care se află în condiţiile unui mediu agresiv;

— 0,20 mm, pentru elementele care se află sub presiunea apei şi care lucrează la încovoiere (cu condiţia ca o parte a secţiunii transversale a elementului să rămînă comprimată);

— 0,20 mm, pentru elementele care se află sub presiunea unui material necoeziv, de exemplu silozurile;

— 0,30 mm, pentru celelalte tipuri de elemente.

Calculul deschiderii fisurilor se poate efectua cu ajutorul relaţiei

$$\alpha_f = \beta_f \frac{A_{bt}}{u} \frac{\psi \sigma_a}{E_a}. \qquad \text{(VI.202)}$$

Pentru evaluarea deschiderii fisurilor se determină prin calcul efortul unitar din armătură în secţiunea cu fisuri σ_a, precum şi coeficientul ψ, care ţine seamă de gradul de conlucrare între betonul şi armătura dintre fisuri, cu ajutorul relaţiilor (VI.181) respectiv (VI.194).

În relaţia VI.202, u este perimetrul armăturii folosite:

$\beta_f = 0{,}5 + 30 \frac{\mu}{d}$ pentru bare netede din OL 38;

$\beta_f = 0{,}4 + 30 \frac{\mu}{d}$ pentru bare TOR 47, şi TOR 57;

$\beta_f = 0{,}35 + 30 \frac{\mu}{d}$ pentru bare PC 52 şi PC 60.

Scanned with OKEN Scanner

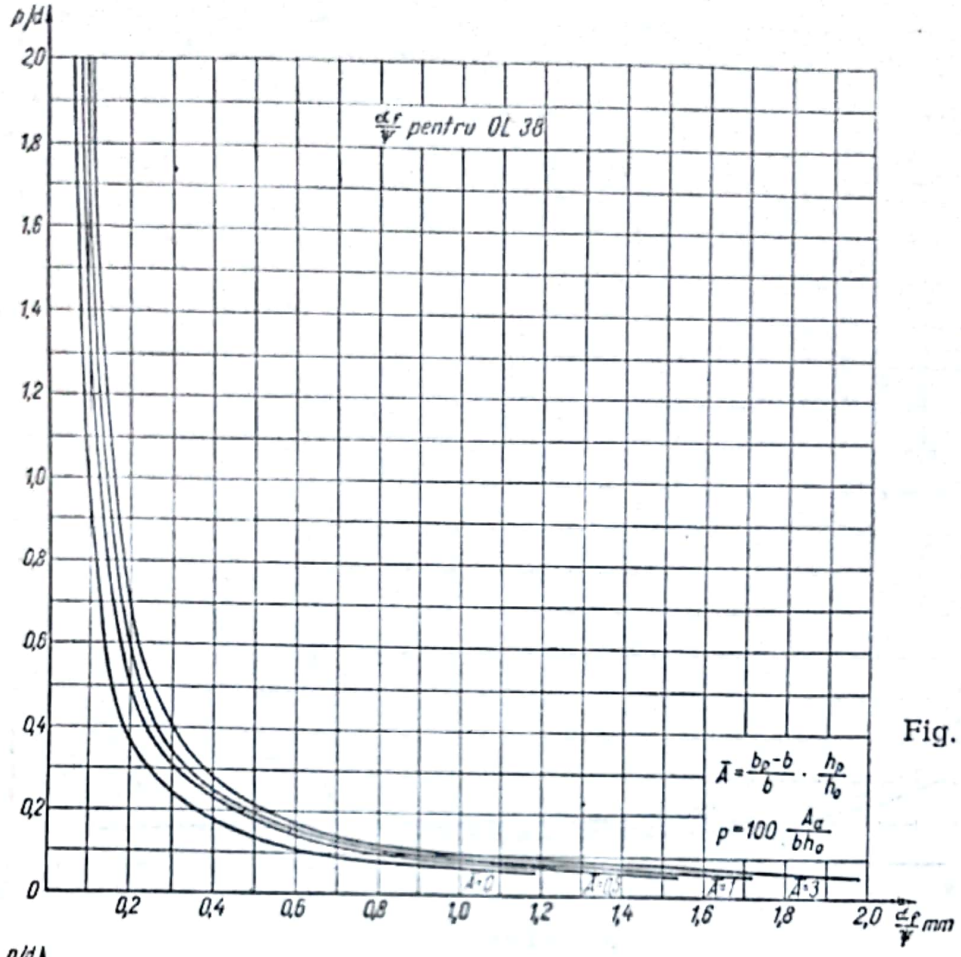


Fig. VI.75.

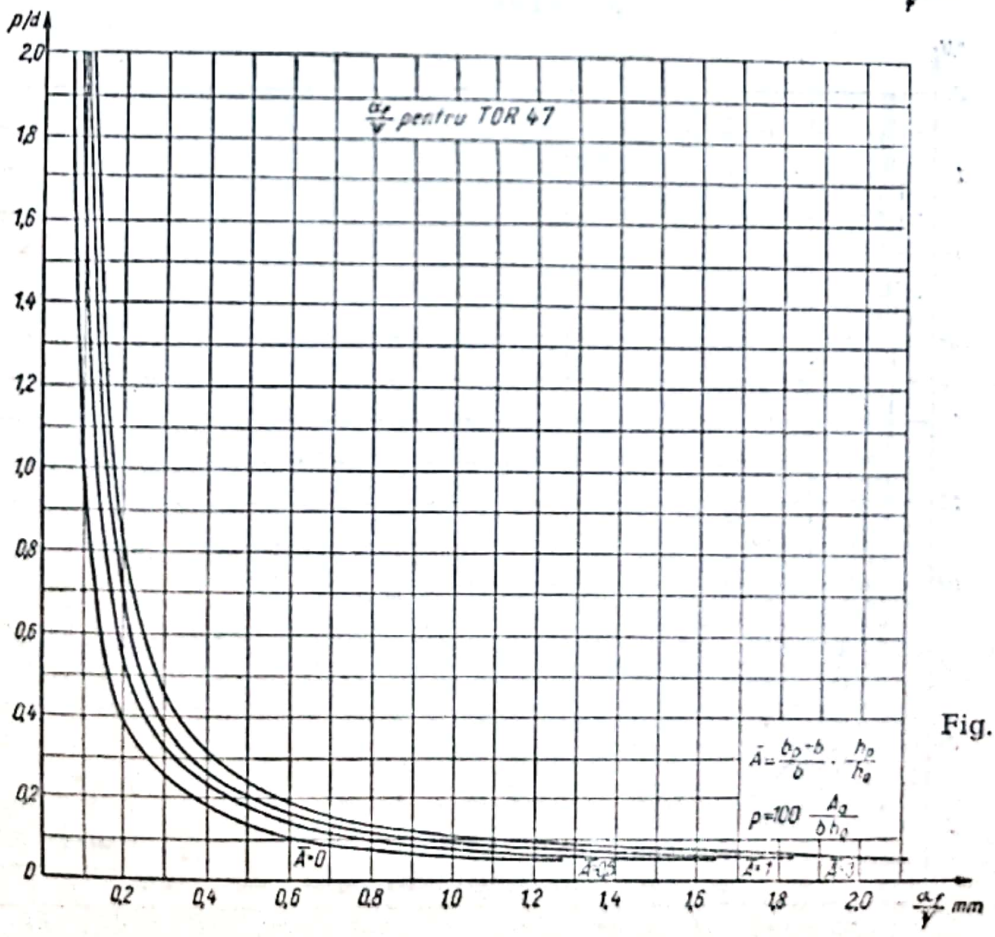


Fig. VI.76.

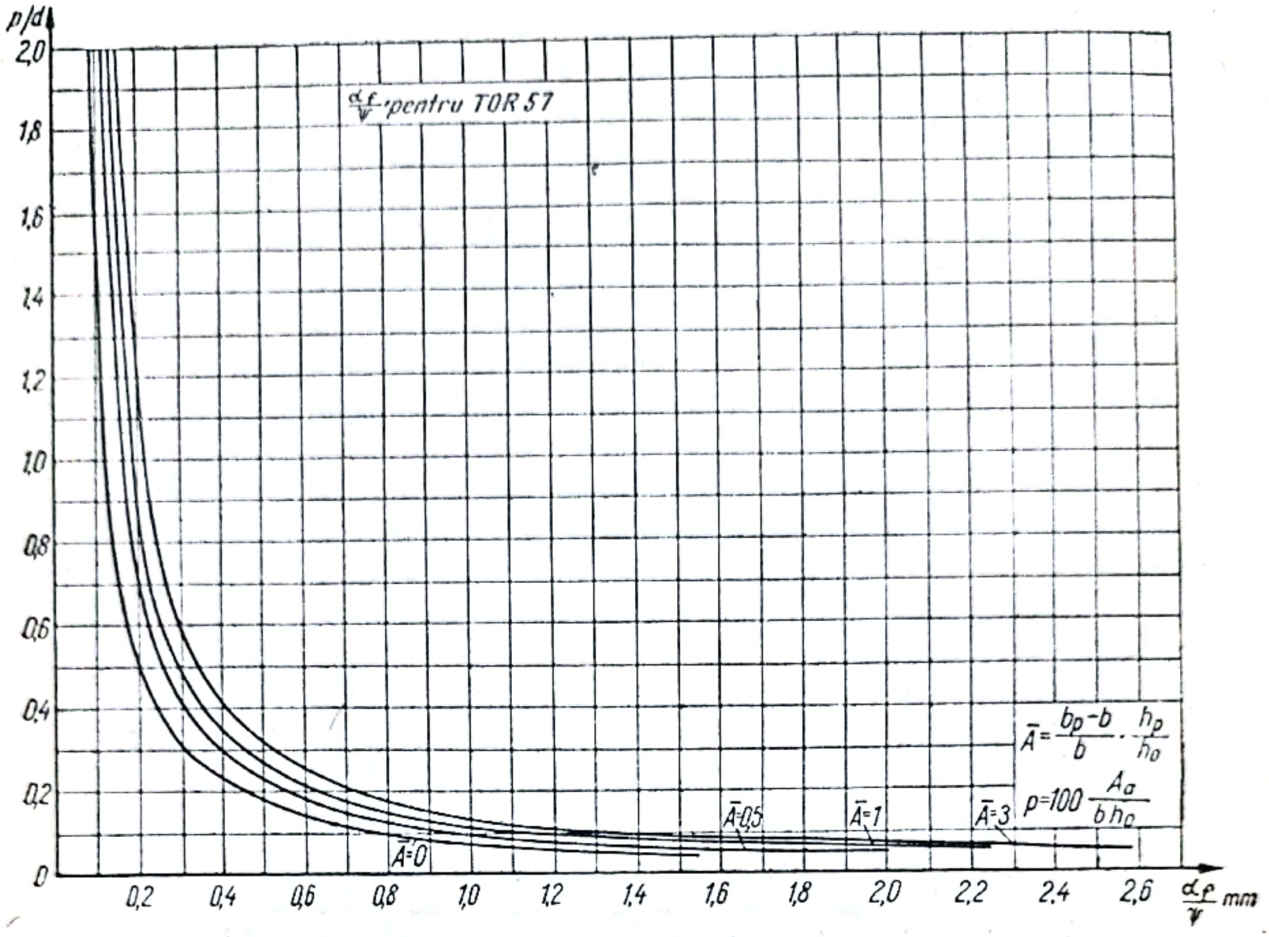


Fig. VI.77.

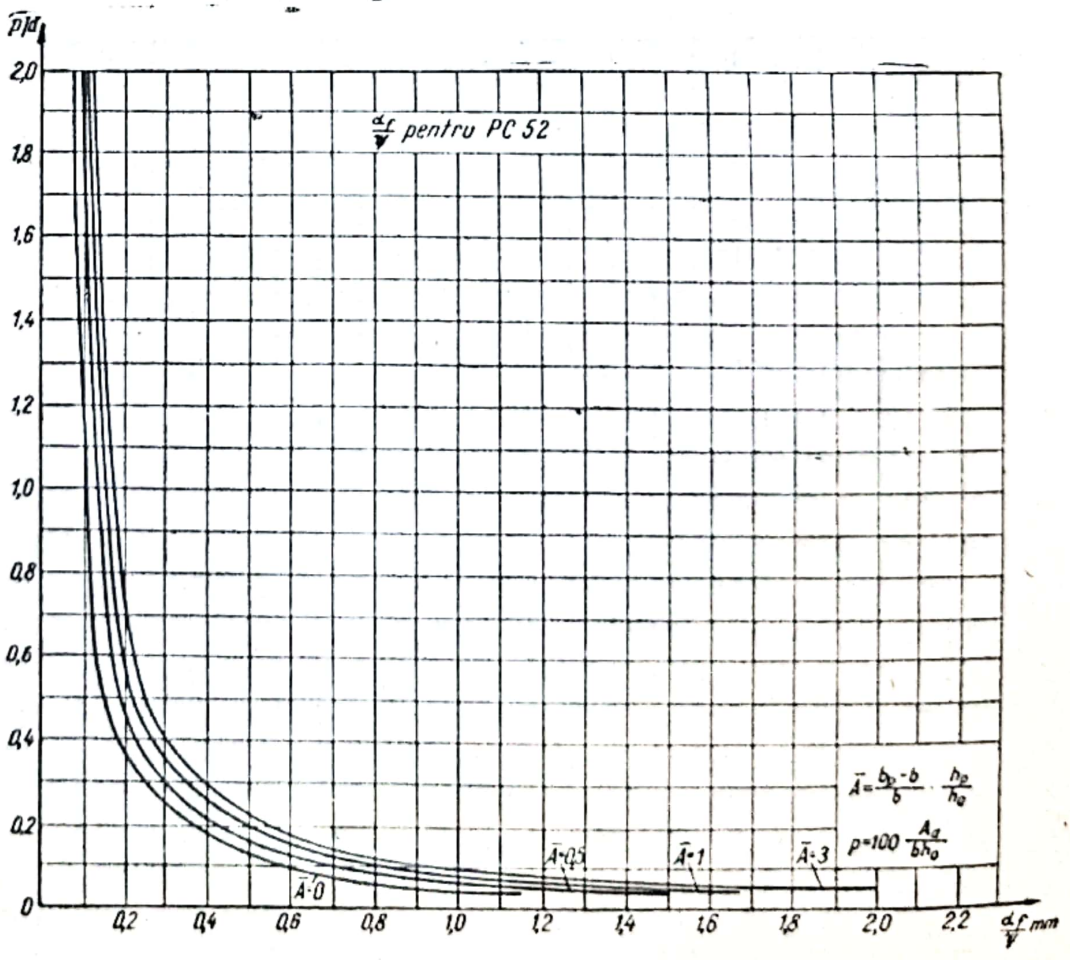


Fig. VI.78.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă armătura este alcătuită din bare cu diametre diferite raportul μ/d se înlocuiește cu $\Sigma \pi \frac{d}{4} bh_0$.

În scopul simplificării calculului pentru deschiderea fisurilor pot fi folosite nomogramele din fig. VI.75—VI.79.

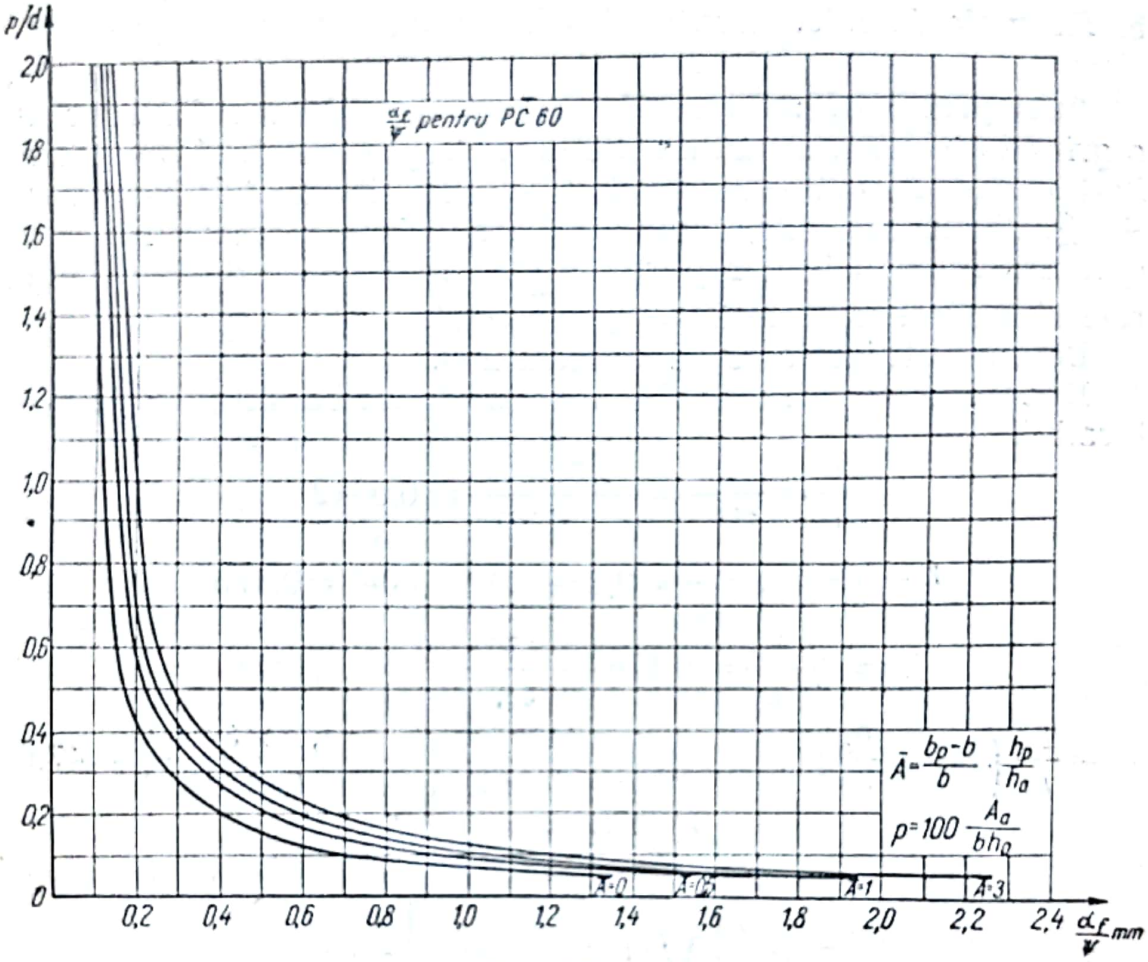


Fig. VI.79.

La plăcile armate pe două direcții în calculul deschiderii fisurilor pot fi folosite relațiile de calcul deduse pentru bare cu introducerea lor în relația (VI.202), $\psi=1$, iar pentru efortul unitar din armătură rezultatul obținut prin calcul cu ajutorul relației

$$\sigma_a = \sigma_{af} + (R_a - \sigma_{af}) \frac{q^n - q_i}{q_r - q_f} \qquad \text{(VI.203)}$$

unde σ_{af} este efortul unitar din armătură în momentul apariției fisurilor care poate fi evaluat cu relația

$$\sigma_{af} = \frac{M_f}{\left(h_0 - \frac{x}{3}\right) A_a}. \qquad \text{(VI.204)}$$

Scanned with OKEN Scanner

În cazul cînd procentul de armare nu depășește 0,5%

$$M_f = \frac{h^2 R t}{3{,}5} \text{ și } x \approx 0{,}3\, h_0.$$

Celelalte caracteristici au fost determinate mai înainte.

b. *Exemple de calcul pentru deschiderea fisurilor*

Exemplul VI.49. Să se determine deschiderea fisurilor la o grindă de beton armat de secțiune dreptunghiulară $b=30$ cm, $h=80$ cm, $h_0=76$ cm, avînd ca armătură $4\varnothing 25$ mm+ $+1\varnothing 22$ mm, $A_a=23{,}4$ cm^2 din bare PC 60; momentul de exploatare $M^n=40$ tfm; raportul dintre încărcarea de lungă durată și încărcarea totală $v=0{,}65$, $\bar{\varphi}=3{,}4$.

Betonul utilizat este de marcă B 200.

Deoarece se utilizează bare cu diametre diferite se determină

$$\frac{\mu}{d} = \frac{u}{4bh_0} = \frac{38{,}3}{4\times 30\times 76} = 0{,}0042$$

$$\beta_f = 0{,}35 + 30\,\frac{\mu}{d} = 0{,}35 + 30\times 0{,}0042 = 0{,}476$$

$$\lambda_f = \beta_f \frac{A_{bt}}{u} = 0{,}476\,\frac{0{,}5\times 30\times 80}{38{,}3} = 14{,}9 \text{ cm}$$

$$n' = \frac{E_a}{E_b}\left(1+\mu\frac{R_a}{40}\right)(1+v\bar{\varphi}) = \frac{2\,100\,000}{265\,000}\left(1+\frac{1{,}03\times 3\,400}{100\times 40}\right) = 47{,}6$$

$$\mu n' = \frac{1{,}03}{100}\,47{,}6 = 0{,}49$$

$$\xi = \mu n'\left[\sqrt{1+\frac{2}{\mu n'}} - 1\right] = 0{,}61$$

$$\zeta = 1 - \frac{\xi}{3} = 1 - \frac{0{,}61}{3} \approx 0{,}8$$

$$\sigma_a = \frac{M^n}{A_a \zeta h_0} = \frac{4\,000\,000}{23{,}4\times 0{,}8\times 76} = 2\,810 \text{ kgf/cm}^2.$$

Dacă nu se cunoaște momentul maxim normat, efortul unitar de calcul în armătură poate fi aproximat prin raportul $R_a/\bar{n}$ unde $\bar{n}$ este coeficientul mediu de supraîncărcare.

$$\bar{\beta} = 0{,}3\,(1-0{,}5\,v) = 0{,}3\,(1-0{,}5\times 0{,}65) \approx 0{,}2$$

$$\psi = 1 - 0{,}2\,\frac{0{,}5\times 30\times 80\times 16}{23{,}4\times 2\,810} \approx 0{,}94$$

$$a_f = \lambda_f \frac{\psi\sigma_a}{E_a} = 14{,}9\,\frac{0{,}94\times 2\,810}{2\,100\,000} = 0{,}187 \text{ mm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Calculul poate fi efectuat cu ajutorul nomogramelor (v. fig. VI.75—VI.79). Astfel, pentru

$$p=\frac{23,4}{30\times 70}\times 100=1,025;\quad \frac{p}{d}=100\frac{\mu}{d}=0,0042\times 100=0,42.$$

Din nomogramă (fig. VI.79) $\frac{a_f}{\psi}=0,2$ mm.

Din nomogramă (fig. VI.68) pentru $p=1,025\%$ și datele problemei se determină $\psi=0,9$ și se calculează $a_f=0,9\times 0,2=$ $=0,18$ mm.

Deoarece acoperirea cu beton este de 2,75 mm adică mai puțin de $1,5\,d$, rezultă necesitatea sporirii deschiderii fisurii determinate din calcul cu 30% de unde rezultă

$a_f=1,3\times 0,187=0,243$ respectiv $=1,3\times 0,18=0,234$ mm $<0,3$ mm.

Exemplul VI.50. Să se calculeze deschiderea fisurilor în exemplul VI.48 pentru $x=0,3\,h_0=3,6$ cm

$$\sigma_{af}=\frac{72\,500}{(12-1,2)\,6,05}=1\,110\ \text{kgf/cm}^2$$

$$\sigma_a=1\,100+(2\,100-1\,110)\frac{0,0865-0,0778}{0,137-0,0778}=1\,100+990\frac{0,0087}{0,0592}=$$

$$=1\,100+0,124\times 990=1\,100+146=1\,246\ \text{kgf/cm}^2$$

$$\beta_f=0,5+30\frac{\mu}{d}=0,5+30\frac{0,005}{0,8}=0,5+0,19=0,69$$

$$u=10\times 3,14\times 0,8=24,8\ \text{cm};\quad A_{bt}=0,5\times 100\times 14=700\ \text{cm}^2$$

$$\lambda_f=0,69\frac{700}{24,8}=19,5\ \text{cm}$$

$$a_f=19,5\frac{1\,246}{2,1\times 10^6}=0,116\ \text{mm}<0,3\ \text{mm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

VII

ELEMENTE DE BETON ARMAT COMPRIMATE EXCENTRIC

1. Relaţii generale privind calculul la starea limită de rezistenţă

În calculul elementelor de beton armat comprimate excentric la starea limită de rezistenţă şi stabilitate în secţiuni normale se deosebesc două cazuri, după modul cum se poate produce ruperea

— cazul I, cînd ruperea se produce prin intrarea în curgere a armăturii întinse;

— cazul II, cînd ruperea elementului are loc fără ca în armătura întinsă sau mai puţin comprimată să se atingă limita de curgere.

Cele două cazuri se delimitează în funcţie de raportul dintre momentul static al zonei comprimate de beton S_b faţă de centrul de greutate al armăturii întinse sau mai puţin comprimate A_a şi momentul static al întregii secţiuni utile de beton S_0 faţă de acelaşi punct.

Se poate stabili relaţia

$$\begin{aligned} S_b &\leqslant \gamma S_0 \text{ pentru cazul I de rupere;} \\ S_b &> \gamma S_0 \text{ pentru cazul II de rupere.} \end{aligned} \qquad \text{(VII.1)}$$

Normele adoptate în prezent în U.R.S.S. prevăd pentru coeficientul γ următoarele valori pentru diferitele mărci de betoane

B 400 şi mai mici $\gamma = 0{,}8$;

B 500 $\gamma = 0{,}7$;

B 600 $\gamma = 0{,}65$.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece mărcile superioare sînt deocamdată mai rar întîlnite în elementele de construcţie executate pe scară largă, normativul P. 8-62 stabileşte $\gamma=0{,}8$. În acest sens, cele două cazuri devin

$$\begin{aligned} S_b &\leqslant 0{,}8\, S_0 \quad \text{— pentru cazul I de rupere;} \\ S_b &> 0{,}8\, S_0 \quad \text{— pentru cazul II de rupere.} \end{aligned} \qquad \text{(VII.1 a)}$$

Pentru secţiunile T cu placa în zona întinsă sau mai puţin comprimată lăţimea maximă de placă considerată în calcul se determină cu condiţia

$$S_0 \leqslant 0{,}55\, b\, h_0^2. \qquad \text{(VII.2)}$$

Pentru cazul I de rupere calculul secţiunilor de orice formă care au un plan de simetrie paralel cu planul de acţiune al momentului încovoietor se efectuează cu ajutorul condiţiei

$$N \leqslant A_b R_i + A'_a R_a - A_a R_a \qquad \text{(VII.3)}$$

sau

$$Ne \leqslant R_i S_b + S_a R_a. \qquad \text{(VII.4)}$$

Poziţia axei neutre se determină cu ajutorul relaţiei

$$S_{bN} R_i \pm A'_a R_a e' - A_a R_a e = 0. \qquad \text{(VII.5)}$$

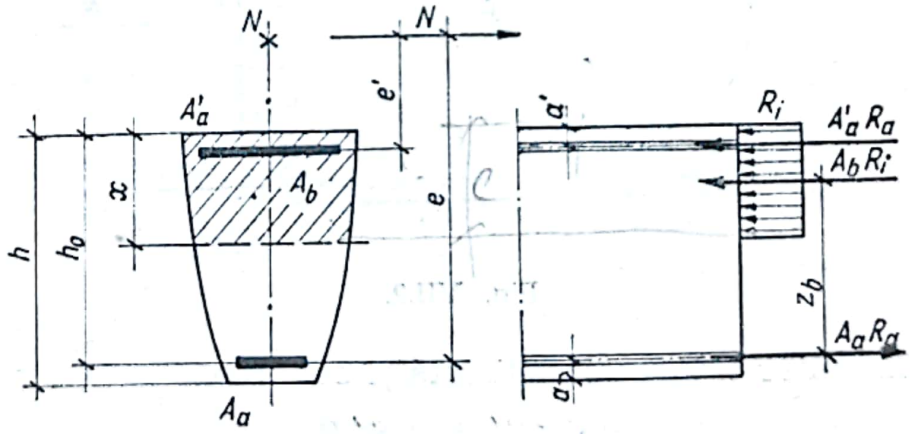


Fig. VII.1.

În relaţiile anterioare

S_{bN} este momentul static al zonei comprimate de beton în raport cu punctul de aplicaţie al forţei N (fig. VII.1);

S_a — momentul static al secţiunii armăturii comprimate A'_a în raport cu centrul de greutate al armăturii A_a.

Scanned with OKEN Scanner

În relația (VII.5) se va considera semnul minus pentru cel de-al doilea termen, dacă forța N este situată între rezultantele eforturilor din armăturile A_a și A'_a.

Ca și în cazul încovoierii, la elementele comprimate excentric cu excentricitate mare se va respecta condiția

$$z_b \leqslant h_0 - a' \qquad \text{(VII.6)}$$

unde z_b este distanța dintre rezultanta eforturilor de compresiune din beton și centrul de greutate al armăturii întinse (v. fig. VII.1).

În cazul nerespectării condiției (VII.6) calculul elementelor cu excentricitate mare se efectuează cu ajutorul relației

$$Ne' \leqslant A_a R_a (h_0 - a') \qquad \text{(VII.7)}$$

cu condiția ca valoarea capacității portante să fie cel puțin egală cu cea calculată pentru o secțiune simplu armată, neglijîndu-se aportul armăturii comprimate.

La elementele care corespund cazului II de rupere ($S_b > 0{,}8\, S_0$) calculul se efectuează cu ajutorul relației (fig. VII.2):

$$Ne \leqslant S_0 R_{pr} + S_a R_a. \qquad \text{(VII.8)}$$

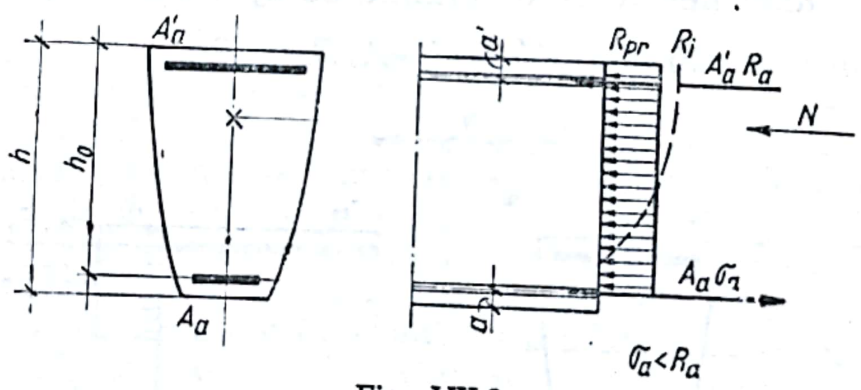


Fig. VII.2.

Suplimentar trebuie satisfăcută și condiția

$$Ne' \leqslant S'_0 R_{pr} + S'_a R_a \qquad \text{(VII.9)}$$

în care: S_a este momentul static al secțiunii armăturii A^a față de centrul de greutate al armăturii întinse sau mai puțin comprimate A_a;

S'_a — momentul static al secțiunii armăturii din zona întinsă sau mai puțin comprimată A_a față de centrul de greutate al armăturii A'_b;

S'_0 — momentul static al secțiunii utile de beton față de centrul de greutate al armăturii A'_a.

Scanned with OKEN Scanner

Influența flambajului pentru elementele comprimate excentric (ambele cazuri) se ia în considerație după cum se arată în continuare.

a) În planul de acțiune al momentului încovoietor ($M = Ne_0$), se consideră că forța N acționează cu o excentricitate sporită ηe_0, coeficientul η determinîndu-se astfel:

— pentru secțiuni oarecare

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{4\,800AR_i}\left(\frac{l_f}{i}\right)^2}; \qquad \text{(VII.10)}$$

— pentru secțiuni dreptunghiulare

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{400bhR_i}\left(\frac{l_f}{h}\right)^2}. \qquad \text{(VII.11)}$$

Dacă valoarea coeficientului η, determinată cu ajutorul relațiilor (VII.10) sau (VII.11), devine negativă sau egală cu infinit, se vor mări dimensiunile secțiunii; pentru calculul excentricităților e' în relațiile (VII.7) și (VII.9) se consideră $\eta = 1$.

b) În planul perpendicular pe planul de acțiune al momentului încovoietor, calculul se face ca pentru un element solicitat la compresiune centrică, conform cap. IV.

Tabela VII.1

Valorile coeficientului $\overline{\gamma}$

h_p/h	Valorile coeficientului $\overline{\gamma}$ pentru b_p/b					
	2	3	5	10	15	20
0,1	10,5	11,6	11,2	10,9	10,2	9,5
0,2	10,5	10,9	10,2	9,1	8,1	7,4
0,3	10,5	10,5	9,5	8,1	7,0	6,7
0,4	10,2	9,8	8,8	7,4	6,7	6,3
0,5	9,5	9,1	8,1	7,0	6,7	—

Influența flambajului poate să nu fie luată în considerație în următoarele cazuri:

— pentru secțiuni oarecare, dacă $\frac{l_f}{i} \leqslant 35$;

— pentru secțiuni dreptunghiulare, dacă $\frac{l_f}{h} \leqslant 10$;

— pentru secțiuni T, dacă $\frac{l_f}{k} < \overline{\gamma}$;

— pentru secțiuni circulare și inelare dacă $\frac{l_f}{D} \leqslant 8$.

Valorile coeficientului $\overline{\gamma}$ se dau în tabela (VII.1).

Scanned with OKEN Scanner

Valoarea coeficientului η, poate fi determinată și cu ajutorul graficului din fig. VII.3. În acest grafic coeficientul η se determină în funcție de raportul l_f/h și n_1 astfel:

— pentru secțiuni dreptunghiulare

$$n_1 = \frac{N}{bhR_i}; \qquad \text{(VII.12 a)}$$

— pentru secțiuni tubulare

$$n_0 = 1{,}33\,\frac{N}{AR_i}; \qquad \text{(VII.12 b)}$$

— pentru secțiuni T, I sau casetate

$$n_T = \frac{N}{bhR_i}\,\varrho. \qquad \text{(VII.12 c)}$$

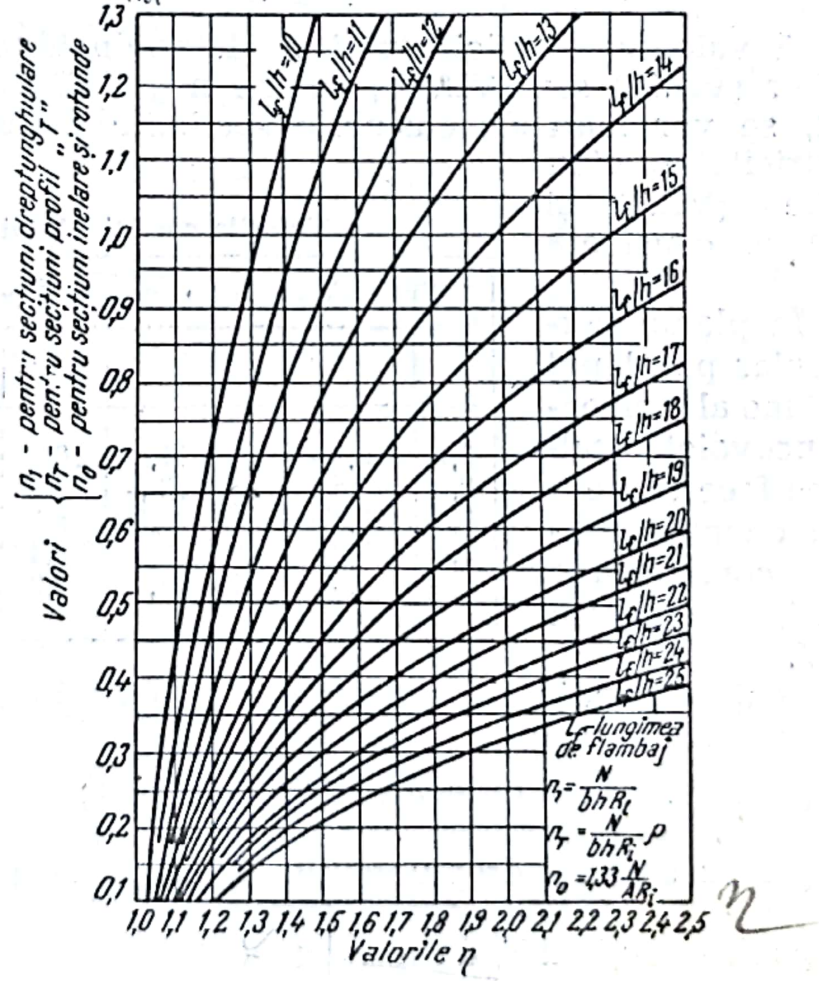


Fig. VII.3.

Valoarea coeficientului ϱ se determină conform tabelei VII.2 sau VII.3.

Tabela VII.2

Valorile coeficientului ρ pentru secţiuni T

h_p/h	Valorile coeficientului ρ pentru b_p/b								
	2	3	4	5	6	8	10	12	15
0,10	0,820	0,710	0,640	0,588	0,555	0,500	0,460	0,438	0,410
0,15	0,780	0,660	0,595	0,550	0,520	0,465	0,435	0,417	0,392
0 20	0,756	0,641	0,568	0,526	0,505	0,465	0,435	0,417	0,392
0,25	0,735	0,629	0,568	0,526	0,505	0,463	0 435	0,417	0,392
0,30	0,730	0,620	0,566	0,526	0,500	0,460	0,435	0,417	0,392
0,35	0,730	0,620	0,563	0,526	0,490	0,460	0,430	0,397	0,390
0,40	0,730	0,620	0,555	0,520	0,490	0,446	0,417	0,397	0,360
0,45	0,730	0,620	0,555	0,513	0,476	0,431	0,384	0,362	0,320
0,50	0,728	0,610	0,544	0,500	0,463	0,403	0,370	0,333	0,290

Tabela VII.3

Valorile coeficientului ρ pentru secţiuni I

h_p/h	Valorile coeficientului ρ pentru b_p/b								
	2	3	4	5	6	8	10	12	15
0,10	0,671	0,506	0,406	0,338	0,291	0,227	0,186	0,157	0,127
0,15	0,603	0,434	0,337	0,276	0,233	0,179	0,144	0,122	0,098
0,20	0,560	0,389	0,299	0,243	0,203	0,154	0,124	0,104	0,083
0,25	0,533	0,363	0,276	0,222	0,186	0,140	0,115	0,094	0,076
0,30	0,516	0,348	0,262	0,211	0,176	0,132	0 106	0,089	0,071
0,35	0,507	0 340	0,255	0,205	0,170	0,128	0,105	0,085	0,069

Rezistenţele de calcul R_i ale betonului vor fi determinate ţinînd seamă de observaţiile din tabela I.2, prin afectarea cu coeficienţii condiţiilor de lucru.

2. Calculul secţiunilor dreptunghiulare

a. *Relaţii de calcul*

La calculul elementelor de beton armat cu secţiune dreptunghiulară comprimate excentric, cele două cazuri de compresiune excentrică se delimitează prin poziţia axei neutre.

Scanned with OKEN Scanner

Ţinînd seama de relaţiile (VII.1) şi de valorile γ indicate în paragraful precedent se obţin pentru $\xi_{max}=x/h_0$ următoarele valori care delimitează cele două cazuri de rupere

$\xi_{max}=0{,}55$ pentru betoane de marcă B 400 şi mai mici;

$\xi_{max}=0{,}45$ pentru betoane de marcă B 500;

$\xi_{max}=0{,}41$ pentru betoane de marcă B 600.

În cazurile cele mai frecvente $\gamma=0{,}8$ iar delimitarea dintre cele două cazuri se face astfel:

— pentru cazul I de rupere

$$S_b \leqslant 0{,}8\, S_0,\ x \leqslant 0{,}55\, h_0; \qquad \text{(VII.13)}$$

— pentru cazul II de rupere

$$S_b > 0{,}8\, S_0,\ x > 0{,}55\, h_0. \qquad \text{(VII.14)}$$

În cazul I de rupere (fig. VII.4), calculul se face cu relaţia

$$N = b\, x\, R_i + A'_a\, R_a - A_a\, R_a \qquad \text{(VII.15)}$$

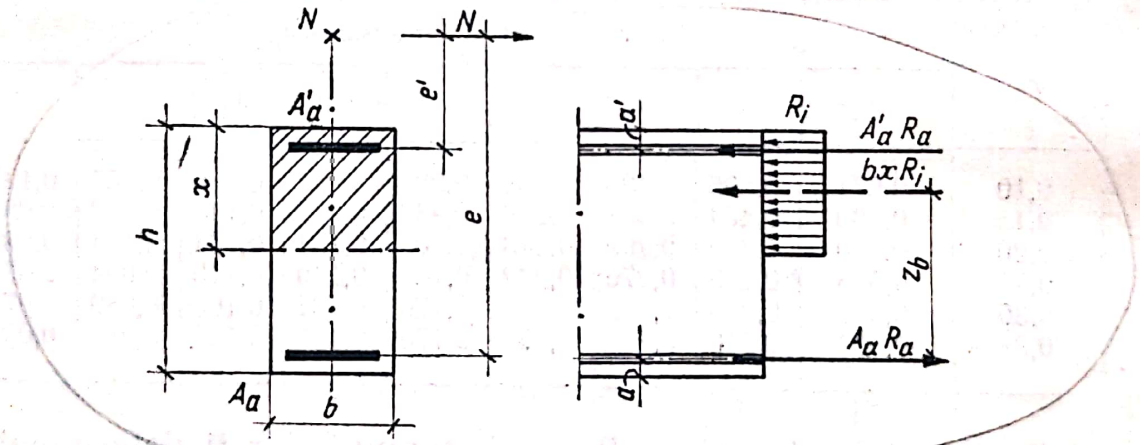


Fig. VII.4.

sau

$$Ne = b\, x\, R_i\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + A'_a R_a\,(h_0 - a'). \qquad \text{(VII.16)}$$

Înălţimea zonei comprimate se determină cu ajutorul relaţiei

$$x = (h_0 - e) + \sqrt{(h_0 - e)^2 + \frac{2R_a\,(A_a e \pm A'_a e')}{bR_i}} \qquad \text{(VII.17)}$$

în care semnul + se ia pentru $e < h_0 - a'$ şi
semnul — se ia pentru $e > h_0 - a'$.

Cînd $x \leqslant 2a'$ calculul se face cu relaţia (VII.7).

Capacitatea portantă a secţiunii se consideră egală cu valoarea rezultată din relaţia (VII.7), însă cel puţin egală cu capacitatea portantă calculată ca pentru o secţiune simplu armată, neglijîndu-se aportul armăturii din zona comprimată.

În cazul II de rupere (fig. VII.5) calculul se face cu relaţia

$$Ne = 0{,}4\, b\, h_0^2\, R_i + A'_a\, R_a\, (h_0 - a'). \qquad \text{(VII.18)}$$

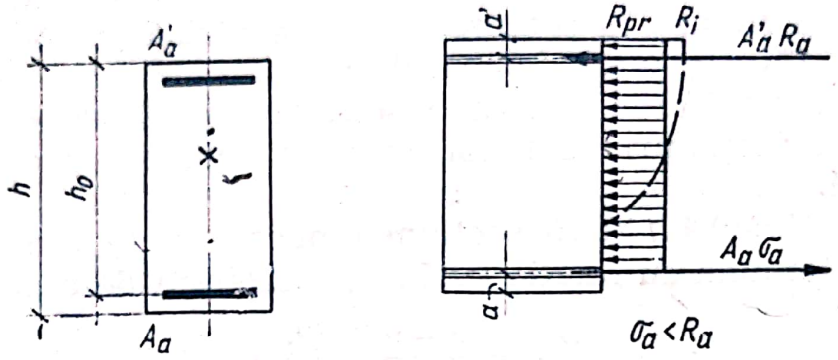


Fig. VII.5.

În acelaşi timp trebuie satisfăcută şi condiţia

$$Ne' \leqslant 0{,}4\, b\, h_0'^2\, R_i + A_a\, R_a\, (h'_0 - a) \qquad \text{(VII.19)}$$

în care $h'_0 = h - a'$.

Excentricitatea forţei faţă de centrul de greutate al armăturii A_a se determină cu relaţia

$$e = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a \qquad \text{(VII.20)}$$

în care valoarea lui η se determină cu relaţia (VII.11), iar $e_0 = M/N$.

În cazurile în care momentul produs de solicitarea excentrică este de semn schimbat, dar apropiat în valoare absolută, se recomandă ca elemntele să se armeze simetric $A_a = A'_a$.

La elementele cu armare simetrică în cazul I de rupere calculul se face cu relaţia

$$N = b\, x\, R_i. \qquad \text{(VII.21)}$$

Înălţimea zonei comprimate se determină cu relaţia

$$x = h_0 - e + \sqrt{(h_0 - e)^2 + \frac{2A_a R_a (h_0 - a')}{bR_i}}. \qquad \text{(VII.22)}$$

În cazul în care $N \leqslant 2a'\, b\, R_i$ calculul se face cu relaţia (VII.7).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru cazul I de rupere calculul se face cu relația

$$e = \eta \frac{M}{N} + \frac{h}{2} - a. \qquad \text{(VII.20 a)}$$

b. *Modul practic de calcul*

Calculul elementelor de beton armat cu secțiune dreptunghiulară supuse la compresiune excentrică constă în:

— verificarea unui element dat;

— dimensionarea pentru o solicitare dată, cunoscîndu-se de obicei secțiunea de beton și fiind necesară secțiunea de armătură.

Dacă $Ne > 0{,}4\, b\, h_0^2\, R_i$ secțiunea necesară de armătură A'_a se va determina cu relația (VII.23), indiferent de cazul ruperii

$$A'_a = \frac{Ne - 0{,}4 b h_0^2 R_i}{R_a (h_0 - a')}. \qquad \text{(VII.23)}$$

Pentru determinarea secțiunii necesare de armătură A_a este necesar să se cunoască dacă este vorba de cazul I sau cazul II de rupere.

Cînd $\eta e_0 \geqslant 0{,}3\, h_0$ calculul se face pentru cazul I de rupere și A_a se poate determina cu relația

$$A_a = 0{,}55\, b\, h_0 \frac{R_i}{R_a} - \frac{N}{R_a} + A'_a. \qquad \text{(VII.24)}$$

Dacă $\eta e_0 \leqslant 0{,}3\, h_0$ iar $e_0 \geqslant 0{,}15\, h_0$ secțiunea A_a a armăturii se ia de regulă din considerente constructive, fiind obligatorie respectarea procentului minim de armare.

Pentru mărci de betoane de cel puțin 150 kgf/cm² și pentru procentul de armare al armăturii A'_a de cel mult 2% ($\mu' \leqslant 2\%$) secțiunea A_a a armăturii rezultă din calcul mai mică decît cea dedusă pe baza procentului minim de armare. În acest caz armătura se va prevedea constructiv, calculată pe baza procentului minim de armare.

Dacă $e_0 < 0{,}15\, h_0$ se verifică suplimentar secțiunea necesară a armăturii A_a pe baza relației

$$A_a \geqslant \frac{N\left(\frac{h}{2} - e_0 - a'\right) - 0{,}4 b h_0'^2 R_i}{R_a (h_0 - a')}. \qquad \text{(VII.25)}$$

În asemenea condiții se poate adapta armarea simetrică,

Cînd se dă armătura A'_a sau din motive constructive se ia mai mare decît cea rezultată din relaţia (VII.23), secţiunea armăturii A_a se determină după cum se arată în continuare.

Pentru compresiune excentrică corespunzătoare cazului I, $\eta e_0 > 0{,}3\ h_0$, secţiunea necesară a armăturii se determină cu relaţia

$$A_a = A_{a1} + A'_a - \frac{N}{R_a} \qquad \text{(VII.26)}$$

unde A_{a1} este secţiunea armăturii ca pentru o secţiune simplu armată solicitată de un moment încovoietor M_1

$$M_1 = Ne - A'_a R_a (h_0 - a'). \qquad \text{(VII.27)}$$

Dacă $A_{a1} > 0{,}55\ b\ h_0 \frac{R_t}{R_a}$ secţiunea dată a armăturii A'_a este insuficientă şi trebuie sporită.

Dacă $M_1 \leqslant 2\ b\ a'\ (h_0 - a')\ R_t$, secţiunea totală a armăturii A_a se poate determina cu relaţia

$$A_a = \frac{Ne'}{R_a (h_0 - a')}. \qquad \text{(VII.28)}$$

La determinarea armăturii A_{a1} se ţine seamă de indicaţiile de la cap. VI.2. Se recomandă să se efectueze calculele în ordinea următoare:

Se determină coeficientul B_0

$$B_0 = \frac{M_1}{bh_0^2 R_t}. \qquad \text{(VII.29)}$$

Din tabela (VI.7) şi pentru a evita interpolarea din tabela (VI.8) sau (VI.9) se găseşte valoarea lui ξ_1 corespunzătoare valorii B_0 calculate.

Secţiunea A_{a1} se poate determina cu ajutorul relaţiei

$$A_{a1} = \xi_1 \frac{R_t}{R_a} bh_0. \qquad \text{(VII.30)}$$

Calculul armăturii secţiunilor dreptunghiulare poate fi efectuat şi cu ajutorul tabelei VII.4.

Se determină $e = r_1 \frac{M}{N} + \frac{h}{2} - a$, e/h_0 şi $N/b\ h_0\ R_t$. Din tabela (VII.4) se determină coeficienţii α, α' şi $\bar{\alpha}$.

În cazul armării nesimetrice, armătura întinsă şi comprimată se determină cu relaţiile

$$A_a = \alpha \frac{R_t}{R_a} bh_0 = \mu bh_0 \qquad \text{(VII.31)}$$

$$A'_a = \alpha' \frac{R_t}{R_a} bh_0 = \mu' bh_0. \qquad \text{(VII.32)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VII.4

Calculul armăturii elementelor cu secțiune dreptunghiulară comprimate excentric

$\frac{e}{h_0}$		$N/b\ h_0\ R_t$																
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40
0,5	α'													0	0,053	0,105	0,211	0,316
	α													0	0	0	0	0
	α													0	0,053	0,105	0,211	0,316
0,6	α'											0	0,021	0,084	0,147	0,211	0,337	0,463
	α											0	0	0	0	0	0	0
	α											0	0,021	0,084	0,147	0,211	0,337	0,463
0,7	α'										0	0,021	0,095	0,168	0,242	0,316	0,463	0,611
	α										0	0	0	0	0	0	0	0
	α										0	0,021	0,095	0,168	0,242	0,316	0,463	0,611
0,8	α'							0	0	0	0,042	0,084	0,168	0,253	0,337	0,421	0,589	0,756
	α							0	0 021	0,050	0,042	0,034	0,018	—	—	—	—	—
	α							0	0,012	0,026	0,042	0,084	0,164	0,253	0,337	0,421	0,589	0,756
0,9	α'					0	0	0	0,005	0,053	0,100	0,147	0,242	0,337	0,432	0,526	0,716	0,905
	α				0	0,022	0,042	0,071	0,105	0,103	0,100	0,097	0,092	0,087	0,082	0,076	0,066	0,055
	α				0	0,016	0,028	0,042	0,059	0,079	0,100	0,147	0,242	0,337	0,432	0,526	0,716	0,905
1,0	α'		0	0	0	0	0	0	0,053	0,105	0,158	0,211	0,316	0,421	0,526	0,632	0,842	1,053
	α		0,013	0,026	0,043	0,068	0,102	0,150	0,153	0,155	0,158	0,161	0,166	0,171	0,176	0,182	0,192	0,203
	α		0,012	0,021	0,033	0,047	0,065	0,084	0,107	0,132	0,158	0,211	0,316	0,421	0,526	0,632	0,842	1,053
1,1	α'	0	0	0	0	0	0	0,042	0,100	0,158	0,216	0,224	0,389	0,505	0,621	0,737	0,968	
	α	0,017	0,031	0,052	0,079	0,117	0,170	0,192	0,200	0,208	0,216	0,264	0,239	0,255	0,271	0,287	0,318	
	α	0,016	0,029	0 042	0,059	0,079	0,101	0,126	0,154	0,184	0,216	0,264	0,389	0,505	0,621	0,737	0,968	

Armare nesimetrică

$$A_a = \alpha \frac{R_t}{R_a} bh_0$$

$$A'_a = \alpha' \frac{R_t}{R_a} bh_0$$

Armare simetrică

$$A_a = A'_a = \bar{\alpha} \frac{R_t}{R_a} bh_0$$

Scanned with OKEN Scanner

1,2	α′	0	0	0	0	0	0,021	0,084	0 147	0,211	0,274	0,337	0,463	0,589	0,716	0,842	1,095	
	α	0,028	0,050	0,079	0,118	0,171	0,221	0,234	0,247	0,261	0,274	0,287	0,313	0,339	0,366	0,392	0,445	
	α | α′	0,026	0,043	0,063	0,089	0,113	0,138	0,168	0,201	0,237	0,274	0,337	0,463	0,589	0,716	0,842	1,095	
1,3	α′	0	0	0	0	0	0,058	0,126	0,195	0,263	0,332	0,400	0,537	0,674	0,811	0,947		
	α	0,040	0,069	0,107	0,158	0,231	0,258	0,276	0,295	0,513	0,332	0,350	0,387	0,424	0,460	0,497		
	α | α′	0,037	0,059	0,084	0,112	0,142	0,175	0,210	0,249	0,289	0,332	0,400	0,463	0,589	0,811	0,947		
1,4	α′	0	0	0	0	0,021	0,095	0,168	0,242	0,316	0,389	0,463	0,611	0,756	0,905	1,053		
	α	0,052	0,088	0,137	0,202	0,271	0,295	0,318	0,342	0,366	0,389	0,413	0,460	0,508	0,555	0,603		
	α | α′	0,047	0,075	0,106	0,138	0,174	0,212	0,253	0,296	0,342	0,389	0,463	0,611	0,756	0,905	1,053		
1,5	α′	0	0	0	0	0,053	0,132	0,211	0,289	0,368	0,447	0,526	0,684	0,842	1,000			
	α	0,063	0,108	0,168	0,250	0,303	0,332	0,361	0,389	0,418	0,447	0,476	0,534	0,592	0,650			
	α | α′	0,058	0,091	0,127	0,164	0,205	0,249	0,295	0,344	0,395	0,447	0,526	0,684	0,842	1,000			
1,6	α′		0	0	0,000	0,084	0,168	0,253	0,337	0,421	0,505	0,589	0,756	0,926	1,095			
	α	0,075	0,129	0,200	0,300	0,334	0,368	0,403	0,437	0,471	0,505	0,539	0,608	0,676	0,745			
	α | α′	0,068	0,107	0,148	0,191	0,237	0,286	0,337	0,391	0,448	0,505	0,589	0,756	0,926	1,095			
1,8	α′	0	0	0	0,053	0,147	0,242	0,337	0,432	0,526	0,621	0,716	0,905	1,095				
	α	0,100	0,172	0,271	0,353	0,397	0,442	0,487	0,532	0,576	0,621	0,666	0,755	0,845				
	α | α′	0,089	0,138	0,190	0,243	0,300	0,360	0,421	0,486	0,553	0,621	0,716	0,905	1,095				
2,0	α′	0	0	0	0,105	0,211	0,316	0,421	0,526	0,632	0,737	0,842	1,053					
	α	0,125	0,218	0,350	0,405	0,461	0,516	0,571	0,626	0,682	0,737	0,792	0,903					
	α | α′	0,110	0,170	0,232	0,296	0,363	0,437	0,505	0,581	0,658	0,737	0,842	1,053					
2,5	α′	0	0	0,105	0,237	0,368	0,500	0,632	0,763	0,895	1,027							
	α	0,193	0,350	0,392	0,458	0,524	0,589	0,655	0,721	0,787	1,027							
	α | α′	0,163	0,249	0,338	0,427	0,521	0,618	0,716	0,818	0,921	1,027							
3,0	α′	0	0,053	0,211	0,368	0,526	0,684	0,842	1,000									
	α	0,268	0,453	0,561	0,668	0,776	0,884	0,992	1,100									
	α | α′	0,215	0,328	0,443	0,559	0,679	0,803	0,926	1,055									

$$\mu = \alpha \frac{R_i}{R_a}$$

$$\mu' = \alpha' \frac{R_i}{R_a}$$

Armare nesimetrică

$$\mu = \mu' = \overline{\alpha} \frac{R_i}{R_a}$$

Armare simetrică

Scanned with OKEN Scanner

În cazul armării simetrice se folosește relația

$$A_a = A'_a = \bar{\alpha} \frac{R_i}{R_a} b h_0 = \mu b h_0. \qquad \text{(VII.33)}$$

În relațiile (VII.31), (VII.32) și (VII.33), R_i se determină ținînd seama de observațiile la tabela I.3.

c. *Exemple de calcul*

Exemplul VII.1. Să se determine armătura A_a și A'_a pentru un stîlp comprimat excentric cu secțiune dreptunghiulară cunoscînd momentul de calcul $M=19$ tfm, $N=75$ tf, $l_f=5{,}2$ m; se folosește beton de marcă B 150 și armătură OL 38.

Se apreciază că secțiunea stîlpului este egală cu $b\,h=30\times60$ cm; $a=a'=3{,}0$ cm și $h_0=57$ cm.

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{1\,900}{75} = 25{,}4 \text{ cm} > 0{,}3\, h_0 = 0{,}3\times57 = 17{,}1 \text{ cm}.$$

Rezultă că printr-o armare corespunzătoare poate avea loc cazul I de rupere.

Rezistența de calcul pentru beton la compresiune din încovoiere, conform observațiilor la tabela I.3, va fi $R_i=0{,}85\times80=68{,}0$ kgf/cm^2 (considerînd că stîlpul se toarnă în poziție verticală) iar pentru armătura $R_a=2\,100$ kgf/cm^2.

Se calculează

$$\eta = \frac{1}{1 - \dfrac{75\,000}{400\times1\,800\times68}\left(\dfrac{520}{30}\right)^2} = 1{,}85$$

$$e = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a = 1{,}85\times25{,}4 + 30 - 3{,}0 = 74 \text{ cm}$$

$$A'_a = \frac{Ne - 0{,}4 b h_0^2 R_i}{R_a (h_0 - a')} = \frac{75\,000\times74 - 0{,}4\times30\times57^2\times68}{2\,100\times54} = 25{,}6 \text{ cm}^2$$

$$A_a = \frac{0{,}55 b h_0 R_i - N}{R_a} + A'_a = \frac{0{,}55\times30\times57\times68 - 75\,000}{2\,100} +$$

$$+ 25{,}6 = 20{,}25 \text{ cm}^2.$$

Exemplul VII.2. Să se determine secțiunea de armătură A_a și A'_a într-o secțiune a unui stîlp comprimat excentric cu-

Scanned with OKEN Scanner

noscînd $M=6$ tfm, $N=305$ tf, $b=h=50$ cm, $h_0=h-a=50-3=47$, $a'=3$ cm, oțel OL 38, beton B 150 și $l_f=6{,}2$ m.

$$e_0=\frac{M}{N}=\frac{600}{305}=1{,}97 \text{ cm}\leqslant 0{,}15\, h_0=7{,}0 \text{ cm (excentricitate mică)}$$

$R_i=0{,}85\times 80=68$ kgf/cm^2 (se betonează în poziție verticală) și

$$R_a=2\,100 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\eta=\frac{1}{1-\dfrac{6\,000}{400\times 2\,500\times 68}\left(\dfrac{620}{50}\right)^2}=1{,}15$$

$$e=e_0\eta\frac{h}{2}-a=1{,}15\times 1{,}97+25-3=23{,}26 \text{ cm}$$

$$e'=h_0-e-a'=47-23{,}26-3=20{,}74 \text{ cm}$$

$$A'_a=\frac{Ne-0{,}4bh_0^2R_i}{R_a(h_0-a')}=\frac{305\,000\times 23{,}26-0{,}4\times 50\times 2\,210\times 68}{2\,100\times 44}=44{,}3 \text{ cm}^2$$

$$A_a=\frac{Ne'-0{,}4bh_0^2R_i}{R_a(h_0-a')}=\frac{305\,000\times 20{,}74-0.4\times 50\times 2\,210\times 68}{2\,100\times 44}=35{,}9 \text{ cm}^2.$$

Exemplul VII.3. Să se determine armătura simetrică pentru stîlpul comprimat excentric cunoscînd $M=15$ tfm, $N=60$ tf, $h=60$ cm, $b=30$ cm, $a=a'=3{,}0$ cm, $l_f=5{,}2$ m; beton B 150

$$e_0=\frac{M}{N}=\frac{1\,500}{60}=25 \text{ cm};$$

$$\eta=\frac{1}{1-\dfrac{60\,000}{400\times 1\,800\times 68}\left(\dfrac{520}{30}\right)^2}=1{,}36;$$

$$e=1{,}36\times 25+30-3=61 \text{ cm}.$$

Rezultă

$$A_a=A'_a=\frac{Ne-0{,}4bh_0^2R_i}{R_a(h_0-a')}=\frac{60\,000\times 61-0{,}4\times 30\times 57^2\times 68}{2\,100\times 54}=9{,}15 \text{ cm}^2.$$

Exemplul VII.4. Să se determine armarea unui stîlp al unei construcții executate monolit din beton B 200 și oțel OL 38, cunoscînd următoarele date: $l_f=9{,}5$ m; $b=40$ cm; $h=80$ cm; $a=4$ cm; $N=168$ tf și $M=71$ tfm.

Scanned with OKEN Scanner

Rezistența de calcul, ținînd seamă de coeficientul condițiilor de lucru din tabela I.3, este

$$R_i = 0{,}85 \times 100 = 85 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\frac{N}{bh_0R_i} = \frac{168\,000}{40 \times 76 \times 85} = 0{,}65$$

$$\frac{l_f}{h} = \frac{950}{80} = 12\,.$$

Din fig. VII.3 rezultă $\eta = 1{,}3$.

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{7\,100\,000}{168\,000} = 42{,}3 \text{ cm}$$

$$e = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a = 1{,}3 \times 42{,}3 + \frac{80}{2} - 4 = 91 \text{ cm}$$

$$\frac{e}{h_0} = \frac{91}{76} = 1{,}2.$$

Din tabela VII.4 rezultă

$$\alpha' = 0{,}4$$

$$\alpha = 0{,}3$$

$$\mu' = \alpha' \frac{R_i}{R_a} = 0{,}4 \frac{85}{2\,100} = 1{,}62\,\%$$

$$\mu = \alpha \frac{R_i}{R_a} = 0{,}3 \frac{85}{2\,100} = 1{,}215\,\%.$$

Secțiunea armăturii necesare rezultă

$$A'_a = \mu' b h_0 = \frac{1{,}62}{100} 40 \times 76 = 49{,}3 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 13 ∅ 22 mm din OL 38 ($A'_a = 49{,}4$ cm²).

$$A_a = \mu b h_0 = \frac{1{,}215}{100} 40 \times 76 = 36{,}9 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 10 ∅ 22 mm OL 38 ($A_a = 38{,}01$ cm²).
Se verifică poziția axei neutre cu relația

$$\xi = (\mu - \mu') \frac{R_a}{R_i} + \frac{N}{bh_0R_i} = \frac{1{,}215 - 1{,}620}{100} \frac{2\,100}{85} + 0{,}65 = 0{,}55.$$

Scanned with OKEN Scanner

Exemplul VII.5. Să se determine armarea necesară pentru un stîlp monolit cunoscînd următoarele date: $N=51$ tf, $M=15$ tfm, $b=35$ cm, $h=50$ cm, $a=3{,}5$ cm, $l_f=4$ m, beton B 200 și oțel PC 52.

$$\frac{l_f}{h}=\frac{400}{50}=8<10 \text{ deci nu intervine flambajul.}$$

$$e_0=\frac{M}{N}=\frac{1\,500\,000}{51\,000}=29{,}5 \text{ cm}$$

$$e=e_0+\frac{h}{2}-a=29{,}5+25-3{,}5=51 \text{ cm}$$

$$R_i=0{,}85\times 100=85 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\frac{N}{bh_0R_i}=\frac{51\,000}{35\times 46{,}5\times 85}=0{,}37$$

$$\frac{e}{h_0}=\frac{51}{46{,}5}=1{,}1\,.$$

Din tabela VII.4 rezultă

$$\alpha'=0{,}025$$

$$\alpha=0{,}19$$

$$\mu'=\alpha'\frac{R_i}{R_a}=0{,}025\,\frac{85}{2\,900}=0{,}074\%<0{,}1\%$$

deci armătura comprimată se va dispune constructiv

$$\mu=\alpha\frac{R_i}{R_a}=0{,}19\,\frac{85}{2\,900}=0{,}56\%$$

$$A'_a=\mu_{min}\,b\,h_0=\frac{0{,}1}{100}\,35\times 46{,}5=1{,}63 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 2 ∅ 16 mm ($A'_a=4{,}02$ cm^2).

$$A_a=\mu\,b\,h_0=\frac{0{,}56}{100}\,35\times 46{,}5=9{,}1 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 5 ∅ 16 mm ($A_a=10{,}05$ cm^2).

Exemplul VII.6. Să se determine armătura necesară pentru o bară a unei grinzi cu zăbrele de beton armat prefabricat

Scanned with OKEN Scanner

cunoscînd următoarele date: $N=56$ tf, $M=26{,}3$ tfm, $b=30$ cm, $h=60$ cm, $a=3{,}5$ cm, $l_f=4{,}00$ m, beton B 250 și oțel OL 38.

$$\frac{l_f}{h}=\frac{400}{60}<10 \text{ deci nu intervine flambajul.}$$

$$R_t=120 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$e_0=\frac{M}{N}=\frac{2\,630\,000}{56\,000}=47 \text{ cm}$$

$$e=e_0+\frac{h}{2}-a=47+30-3{,}5=73{,}5 \text{ cm}$$

$$\frac{e}{h_0}=\frac{73{,}5}{56{,}5}=1{,}3$$

$$\frac{N}{bh_0R_t}=\frac{56\,000}{30\times 56{,}5\times 120}=0{,}275.$$

Din tabela VII.4 rezultă

$$\alpha'=0$$

$$\alpha=0{,}195$$

$$\mu=\alpha\frac{R_t}{R_a}=0{,}195\,\frac{120}{2\,100}=1{,}12\%.$$

Armătura comprimată se determină constructiv.

$$A'_a=\mu_{min}\,b\,h_0=\frac{0{,}15}{100}\,30\times 56{,}5=2{,}55 \text{ cm}.$$

Se aleg 2 ∅ 14 mm ($A'_a=3{,}08$ cm^2)

$$A_a=\mu\,b\,h_0=\frac{1{,}12}{100}\,30\times 56{,}5=19 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 3 ∅ 18+3 ∅ 22 mm ($A_a=19{,}03$ cm^2).

Exemplul VII.7. Să se determine armătura necesară pentru un stîlp turnat în poziție verticală cunoscînd următoarele date: $l_f=5$ m, $b=40$ cm, $h=60$ cm, $a=3{,}5$ cm, beton B 200, armătura OL 38, $N=160$ tf și $M=14$ tfm.

$$\frac{l_f}{h}=\frac{500}{60}<10 \text{ deci nu intervine flambajul.}$$

$$R_t=0{,}85\times 100=85 \text{ kgf/cm}^2$$

$$e_0=\frac{M}{N}=\frac{1\,400\,000}{160\,000}=8{,}75 \text{ cm}\approx 9 \text{ cm}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$e = e_0 + \frac{h}{2} - a = 9 + 30 - 3{,}5 = 35{,}5 \text{ cm}$$

$$\frac{e}{h_0} = \frac{35{,}5}{56{,}5} = 0{,}63$$

$$\frac{N}{bh_0R_t} = \frac{160\,000}{40 \times 56{,}5 \times 85} = 0{,}83 \cdot$$

Din tabela VII.4 rezultă

$$\alpha' = 0{,}130$$

$$\alpha = 0, \text{ (armare constructivă)}$$

$$\mu' = \alpha' \frac{R_t}{R_a} = 0{,}130 \frac{85}{2\,100} = 0{,}527\ \%$$

$$A'_a = \mu' bh_0 = \frac{0{,}527}{100} 40 \times 56{,}5 = 11{,}9 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 6 ∅ 16 mm ($A'_a = 12{,}06$ cm^2).

$$A_a = \mu_{min}\, bh_0 = \frac{0{,}1}{100} 40 \times 56{,}5 = 2{,}26 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 2 ∅ 16 mm ($A_a = 4{,}02$ cm^2).

Exemplul VII.8. Să se determine valoarea solicitării de calcul N pentru o excentricitate inițială $e_0 = 12$ cm cunoscînd $b = 40$ cm, $h = 60$ cm, $a = 3{,}5$, $a' = 4{,}5$, beton de marcă B 300, armătură din PC 52, $l_f/h = 11$, $A_a = 6{,}28$ cm^2, $A'_a = 24{,}6$ cm^2 și $R_i = 0{,}85 \times 160 = 136$ kgf/cm^2.

Se calculează momentul preluat de armătura comprimată A'_a cu ajutorul relației

$$M_{a1} = A'_a R_a (h_0 - a') = 24{,}6 \times 2\,900\ (56{,}5 - 4{,}5) = 3\,700\,000 \text{ kgfcm}.$$

Valoarea solicitării de calcul N se determină cu relația

$$N = \frac{M_{a1} + 0{,}4\, bh^2R_i}{e} = \frac{3\,700\,000 + 0{,}4 \times 40 \times 56{,}5^2 \times 136}{e} = \frac{8\,850\,000}{e} \text{ kgf}$$

$$e = e_0 + \frac{h}{2} - a = 12 + 30 - 3{,}5 = 38{,}5 \text{ cm}.$$

Fără a considera influența flexibilității

$$N = \frac{8\,850\,000}{38{,}5} = 230\,000 \text{ kgf}.$$

Se determină $n_1 = \dfrac{N}{bhR_t} = \dfrac{230\,000}{40 \times 60 \times 136} = 0{,}703.$

Scanned with OKEN Scanner

În graficul din fig. VII.3, pentru $n_1=0{,}703$ și $l_f/h=11$ se determină $\eta=1{,}3$.

$$e=\eta e_0+\frac{h}{2}-a=12\times 1{,}3+30-3{,}5=42{,}0 \text{ cm.}$$

De unde

$$N=\frac{8\,850\,000}{42}=210\,000 \text{ kgf.}$$

3. Calculul secțiunilor T, I sau casetate

a. *Relații de calcul*

La calculul secțiunilor T, I sau casetate se ia în considerație numai placa din zona cea mai comprimată, neglijînd pe cea din zona întinsă, cu excepția cazului II de rupere (v. relația VII.2).

Calculul elementelor constă în verificarea unei secțiuni date sau dimensionarea armăturii cînd se cunosc solicitarea și secțiunea de beton.

Calculul secțiunilor se face plecînd de la relațiile generale (VII.3), (VII.4), (VII.5) și (VII.8).

La determinarea lățimii de calcul a plăcii situate în zona comprimată se va ține seama de indicațiile de la cap. VI, A, 4, a.

În calculul secțiunilor pot interveni două cazuri după cum axa neutră cade în placă sau în inima elementului.

Dacă axa neutră cade în placa comprimată, calculul se efectuează ca pentru o secțiune dreptunghiulară de lățime $b+0{,}8\,(b_p-b)$.

Dacă axa neutră cade în inimă se pot scrie relațiile

$$N\leqslant bx\,R_i+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\,R_i-(A_a-A'_a)\,R_a \qquad \text{(VII.34)}$$

$$Ne\leqslant[bx(h_0-0{,}5\,x)+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\,(h_0-0{,}5\,h_p)]\,R_i+$$
$$+A'_aR_a\,(h_0-a'). \qquad \text{(VII.35)}$$

La verificarea secțiunilor poziția axei neutre se poate determina din relația

$$bx\left(e-h_0+\frac{x}{2}\right)R_i+0{,}8\,(b_p-b)\,h_pR_i\left(e-h_0+\frac{h_p}{2}\right)-$$
$$-(A_ae\pm A'_ae')\,R_a=0. \qquad \text{(VII.36)}$$

Scanned with OKEN Scanner

La dimensionarea armăturii nu se poate preciza anticipat cazul de rupere deoarece nu se cunoaşte poziţia axei neutre. De aceea calculul se face prin încercări.

Se alege mai întîi armătura A'_a pe baza procentului minim de armare a inimii ($A'_a = \mu_{min}\, bh_0$). Se admite apoi că axa neutră intersectează placa şi se determină poziţia ei ca la o secţiune dreptunghiulară. Dacă $x \leqslant h_p$ calculul armăturii se efectuează conform indicaţiilor de la pct. 1, b.

Dacă $x > h_p$ se stabileşte separat armătura A_a necesară compresiunii din placă, din inima grinzii şi din armătura comprimată.

După determinarea poziţiei axei neutre, trebuie verificată condiţia $S_b/S_0 \leqslant \gamma$.

b. *Modul practic de calcul*

Valoarea maximă a momentului preluat de zona comprimată de beton se determină, atît pentru cazul I cît şi pentru cazul II de rupere, pentru majoritatea mărcilor de beton, cu relaţia:

$$M_{b\,max} = 0{,}8\, S_0\, R_i = B_{0max}\, b\, h_0^2\, R_i \qquad \text{(VII.37)}$$

unde valoarea momentului static S_0 se poate scrie sub forma

$$S_0 = 0{,}5\, b\, h_0^2 + 0{,}8\, (b_p - b)\, h_p\, (h_0 - 0{,}5\, h_p) \qquad \text{(VII.38)}$$

şi

$$M_{b\,max} = [0{,}4\, bh_0^2 + 0{,}64\, (b_p - b)\, h_p\, (h_0 - 0{,}5\, h_p)]\, R_i. \qquad \text{(VII.39)}$$

În toate cazurile cînd momentul exterior de calcul dat de solicitarea N în raport cu centrul de greutate al armăturii A_a depăşeşte valoarea $M_{b\,max}$, adică $Ne > M_{b\,max}$) este necesară armătura comprimată A'_a.

Aceasta se determină cu ajutorul relaţiei

$$A'_a = \frac{Ne - M_{b\,max}}{R_a\,(h_0 - a')}. \qquad \text{(VII.40)}$$

Secţiunea armăturii A_a se determină cu relaţia

$$A_a = A_{b\,max}\,\frac{R_i}{R_a} + A'_a - \frac{N}{R_a} \qquad \text{(VII.41)}$$

în care $A_{b\,max}$ este aria maximă a zonei comprimate care se determinată din condiţia $S_b = \gamma S_0$.

Dacă se dă armătura A'_a sau dacă aceasta se ia din motive constructive mai mare decît valoarea obţinută din rela-

Scanned with OKEN Scanner

ția (VII.41), se calculează secțiunea la momentul încovoietor M_1, ca o secțiune T simplu armată.

Valoarea momentului încovoietor M_1 se determină cu ajutorul relației (VII.27)

$$M_1 = Ne - A_a' R_a (h_0 - a').$$

Ținînd seama de indicațiile de la cap. VI.A, 4, se determină secțiunea A_{a1} a armăturii cu ajutorul momentului M_1.

Secțiunea totală A_a a armăturii se determină cu relația (VII.26)

$$A_a = A_{a1} + A_a' - \frac{N}{R_a}.$$

Calculul mai poate fi efectuat folosind tabelele de la cap. VI.

Dacă este necesară din calcul armătură comprimată rezultă relația

$$\frac{Ne}{bh_0^2 R_i} > \frac{M_{b\,max}}{bh_0^2 R_i} \qquad \text{(VII.42)}$$

$$B_0 = \frac{Ne}{bh_0^2 R_i} \text{ și } B_{T\,max} = \frac{M_{b\,max}}{bh_0^2 R_i} = 0{,}4 + 0{,}64(b_p - b)h_p(h_0 - 0{,}5\ h_p).$$

Secțiunea de armătură comprimată se obține cu ajutorul relației

$$A_a' = \frac{(B_0 - B_{T\,max})\, bh_0^2 R_i}{R_a (h_0 - a')}. \qquad \text{(VII.43)}$$

Valoarea coeficientului $B_{T\,max}$ este dată în tabela VI.15 în funcție de rapoartele h_p/h_0 și b_p/b.

Pentru calculul armăturii A_a cu relația (VII.41) se determină aria maximă a zonei comprimate cu ajutorul relației

$$A_{b\ max} = \xi_{T\,max}\, bh_0 + 0{,}8(b_p - b)h_p \qquad \text{(VII.44)}$$

iar valorile $\xi_{T\,max}$ se dau în tabela VII.5.

În cazul cînd armătura comprimată se ia din considerente constructive mai mare decît cea necesară din calcul, armătura A_a se determină după cum se arată în continuare.

Dacă $Ne \leqslant [b + 0{,}8(b_p - b)h_p(h_0 - 0{,}5\ b_p)]\ R_i + A_a' R_a (h_0 - a')$ (VII.45)

axa neutră trece prin placă, iar armătura A_a se determină ca și în cazul secțiunilor dreptunghiulare, cînd se cunoaște A_a'

Scanned with OKEN Scanner

Tabela VII.5

Valorile $\xi_{T\,max}$ în funcție de b_p/b și h_p/h_0 (pentru $\gamma = 0{,}8$)

b_p/b \ h_p/h_0	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
1,5	0,3962	0,3954	0,3946	0,3940	0,3932	0,3924	0,3910	0,3896	0,3882	0,3870	0,3856	0,3844	0,3832
2	0,3922	0,3908	0,3892	0,3878	0,3862	0,3848	0,3820	0,3792	0,3764	0,3738	0,3712	0,3686	0,3662
2,5	0,3894	0,3860	0,3838	0,3816	0,3794	0,3772	0,3730	0,3688	0,3646	0,3608	0,3568	0,353	0,3494
3	0,3844	0,3814	0,3784	0,3756	0,3726	0,3696	0,3640	0,3584	0,3530	0,3476	0,3424	0,3374	0,3324
3,5	0,3806	0,3768	0,3730	0,3694	0,3656	0,3620	0,3548	0,3480	0,3412	0,3344	0,328	0,3216	0,3156
4	0,3766	0,3722	0,3676	0,3632	0,3588	0,3544	0,3460	0,3376	0,3294	0,3214	0,3136	0,306	0,2986
5	0,3688	0,3628	0,3568	0,3510	0,3450	0,3392	0,3278	0,3166	0,3058	0,2952	0,2848	0,2748	0,2648
6	0,3610	0,3534	0,3460	0,3386	0,3312	0,3240	0,3098	0,2958	0,2822	0,269	0,256	0,2434	0,2310
7	0,3532	0,3442	0,3352	0,3264	0,3176	0,3088	0,2918	0,2750	0,2588	0,2428	0,2272	0,2120	
8	0,3454	0,3350	0,3244	0,3140	0,3038	0,2936	0,2736	0,2542	0,2352	0,2166	0,1984		
10	0,3298	0,3162	0,3028	0,2896	0,2762	0,2632	0,2376	0,2126	0,188	0,1642			
12	0,3142	0,2976	0,2812	0,2650	0,2488	0,2228	0,2014	0,1708	0,141				
14	0,2986	0,2790	0,2596	0,2404	0,2012	0,2022	0,1654	0,1292					
16	0,2830	0,2604	0,2380	0,2158	0,1938	0,172	0,1292						

Scanned with OKEN Scanner

Dacă nu se respectă condiția (VII.45), axa neutră trece prin inimă iar calculul armăturii A_a se efectuează astfel:

a) se determină momentul preluat de armătura comprimată și o fracțiune corespunzătoare din armătura întinsă

$$M'_a = A'_a R_a(h_0 - a'); \qquad \text{(VII.46)}$$

b) se calculează momentul preluat de placă și fracțiunea corespunzătoare a armăturii întinse

$$M_p = 0{,}8(b_p - b)h_p(h_0 - 0{,}5\ h_p)R_i \qquad \text{(VII.47)}$$

și armătura

$$A_{ap} = 0{,}8\,(b_p - b)h_p \frac{R_i}{R_a}. \qquad \text{(VII.48)}$$

Secțiunea armăturii A_{ap} se mai poate calcula cu relația

$$A_{ap} = \alpha_{aT} b h_0 \frac{R_i}{R_a} \qquad \text{(VII.49)}$$

în care α_{aT} se ia din tabela VI.16;

c) se calculează momentul preluat de betonul comprimat din grindă și fracțiunea corespunzătoare a armăturii întinse

$$M_g = bx\,(h_0 - 0{,}5\,x)\,R_i \qquad \text{(VII.50)}$$

și armătura

$$A_{ag} = bx \frac{R_i}{R_a}. \qquad \text{(VII.51)}$$

Secțiunea totală de armătură se calculează cu relația

$$A_a = A_{ag} + A_{ap} + A'_a - \frac{N}{R_a}. \qquad \text{(VII.52)}$$

Fracțiunea A_{ag} din armătura întinsă se poate determina ca pentru un element încovoiat cu secțiune dreptunghiulară folosind tabelele din cap. VI, pe baza momentului

$$M_g = Ne - (M_p + M'_a). \qquad \text{(VII.53)}$$

Dacă A_a determinată prin relațiile (VII.41) și (VII. 52) au o valoare negativă, atunci nu este nevoie din calcul de armătură întinsă. Este posibil însă ca ea să fie necesară la compresiune și de aceea trebuie să se verifice suplimentar cu ajutorul relației

$$A_a = \frac{N(h_0 - a' - e) - 0{,}8S'_0 R_i}{R_a(h_0 - a')} \qquad \text{(VII.54)}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde S'_0 este momentul static al întregii secțiuni utile a betonului, față de centrul de greutate al armăturii comprimate A'_a și care se determină cu ajutorul relației

$$S'_0 = 0{,}5bh'^2_0 + \frac{0{,}8\,(b_p - b)\,(h_p - a')^2}{2} \qquad \text{(VII.55)}$$

în care $h'_0 = h - a'$.

În acest caz trebuie respectată condiția (VII.2)

$$S'_0 \leqslant 0{,}55\,b\,h'^2_0.$$

Foarte frecvent secțiunile I sau casetate se realizează cu armătură simetrică ($A_a = A'_a$).

Dacă axa neutră cade în placă poziția ei se determină cu ajutorul relației

$$x = \frac{N}{b + 0{,}8\,(b_p - b)R_t}. \qquad \text{(VII.56)}$$

Calculul secțiunii se poate face în acest caz ca pentru secțiunile dreptunghiulare cu lățimea $b + 0{,}8(b_p - b)$.

Dacă $x \leqslant 2a'$ se va ține seama de indicațiile date la cap. VII.1.

Dacă axa neutră cade în inimă, poziția ei se determină cu relația

$$x = \frac{N - 0{,}8\,(b_p - b)\,h_p R_t}{bR_t}. \qquad \text{(VII.57)}$$

Dacă $h_p < x \leqslant \xi_{r\,max}\,h_0$ secțiunea armăturilor se poate determina cu relația

$$A_a = A'_a = \frac{N\,(e - z_b)}{R_a\,(h_0 - a')} \qquad \text{(VII.58)}$$

în care z_b este distanța de la centrul de greutate al armăturii A_a pînă la rezultanta eforturilor din betonul comprimat.

Dacă $x > \xi_{r\,max}\,h_0$, secțiunea armăturilor se determină cu relația

$$A_a = A'_a = \frac{Ne - B_{T\,max}bh_0^2 R_t}{R_a\,(h_0 - a')}. \qquad \text{(VII.59)}$$

În toate relațiile anterioare valoarea e se determină cu ajutorul relației (VII.20 a).

c. *Exemple de calcul*

Exemplul VII.9. Să se determine secțiunea de armătură A_a și A'_a din oțel de marcă PC 52 pentru o secțiune T comprimată excentric cunoscînd $b = 30$ cm, $h = 60$ cm, $b_p = 50$ cm,

Scanned with OKEN Scanner

$h_p = 12$ cm, $a = a' = 3{,}5$ cm, $N = 87$ tf și $M = 27{,}8$ tfm; se folosește beton B 200.

Nu se ia în considerație flambajul și elementul se betonează orizontal.

Din graficul din fig. VII.6 se determină poziția centrului de greutate în funcție de $\frac{h_p}{h} = \frac{12}{60} = 0{,}2$ și $\frac{b}{b_p} = \frac{30}{50} = 0{,}6$.

$$y = \theta h = 0{,}547 \times 60 = 32{,}8 \text{ cm}.$$

Distanța de la punctul de aplicație al forței pînă la centrul de greutate al armăturii întinse va fi

$$e = e_0 \eta + y - a = \frac{278\,000}{87\,000} + 32{,}8 - 3{,}5 = 61{,}3 \text{ cm}.$$

Se determină coeficientul B_0

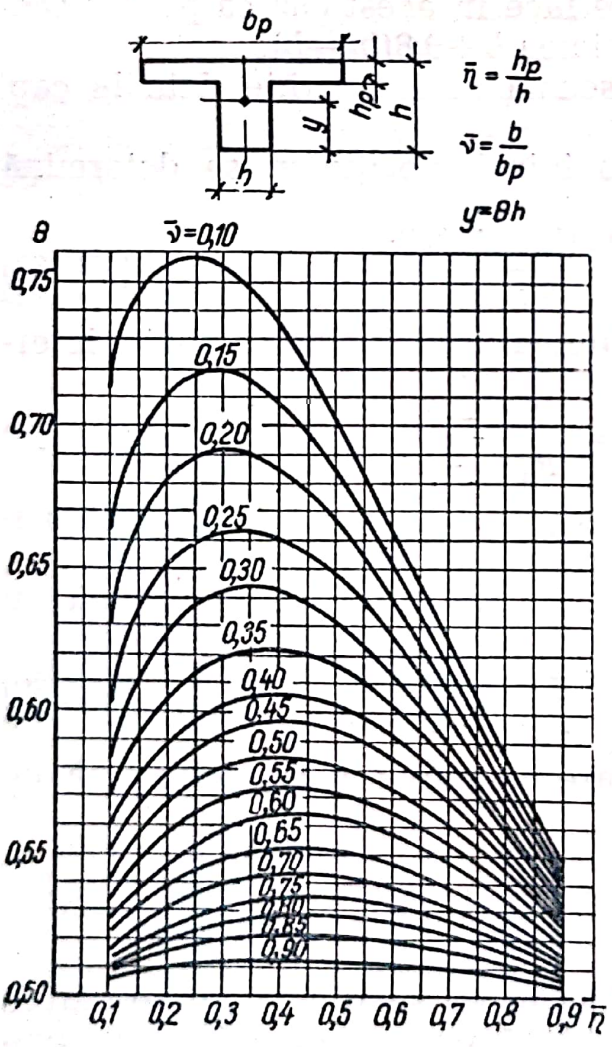


Fig. VII.6.

$$B_0 = \frac{Ne}{bh_0^2 R_i} =$$

$$= \frac{87\,000 \times 61.3}{30 \times 56{,}5^2 \times 100} = 0{,}555.$$

Deoarece $B_0 > B_{\Gamma max} = 0{,}502$, determinat din tabela VI.15 în funcție de $b_p/b = 1{,}67$ și $h_p/h_0 = 0{,}212$, momentul Ne nu poate fi preluat numai de zona comprimată a secțiunii T, fiind necesară o armătură comprimată A'_a. Folosind relația VII.43 se obține

$$A'_a = \frac{(B_0 - B_{T\,max})\, bh_0^2 R_i}{R_a (h - a')} =$$

$$= \frac{(0{,}555 - 0.502)\, 30 \times 56{,}5^2 \times 100}{2\,400\,(56{,}5 - 3{,}5)} =$$

$$= 4 \text{ cm}^2.$$

Se aleg $2 \varnothing 16$ ($A_a = 4{,}02$ cm^2).

Deoarece secțiunea armăturii comprimate rezultă din calcul, secțiunea armătu-

rii întinse se determină cu relația (VII.41) în care $A_{b\,max}$ se calculează cu relația (VII.44)

$$A_{b\,max} = \xi_{r\,max}\, bh_0 + 0{,}8(b_p - b)h_p \quad \text{și} \quad \xi_{r\,max} = 0{,}37$$

conform tabelei VII.5

$$A_{b\,max} = 0{,}37 \times 30 \times 56{,}5 + 0{,}8 \times 20 \times 12 = 819 \text{ cm}^2$$

$$A_a = 819 \frac{100}{2\,900} + 4 - \frac{37\,000}{2\,900} = 2{,}3 \text{ cm}^2.$$

Exemplul VII.10. Să se determine secțiunea de armătură A_a din oțel PC 52 cunoscînd $b = 30$ cm, $h = 60$ cm, $b_p = 60$ cm, $h_p = 12$ cm, $a = a' = 3{,}5$ cm, $N = 37{,}8$ tf, $M = 21$ tfm și $A'_a = 5{,}09$ cm².

Nu se ia în considerație flambajul și betonarea se face vertical ($R_i = 100 \times 0{,}85 = 85$ kgf/cm² pentru B = 200).

Se determină poziția centrului de greutate în funcție de

$$\frac{b}{b_p} = \frac{30}{60} = 0{,}5; \quad \frac{h_p}{h} = \frac{12}{60} = 0{,}2; \quad \theta = 0{,}569$$

$$y = \theta h = 0{,}569 \times 60 = 34{,}2 \text{ cm (v. fig. VII.6).}$$

Distanța de la punctul de aplicație al forței pînă la centrul de greutate al armăturii întinse va fi

$$e = e_0\eta + y - a = \frac{2\,100\,000}{37\,800} + 34{,}2 - 3{,}5 = 86{,}2 \text{ cm.}$$

Se calculează momentul preluat de armătura comprimată și de o parte din armătura întinsă

$$M'_a = A'_a R_a (h_0 - a') = 5{,}09 \times 2\,900 \times (56{,}5 - 3{,}5) = 782\,000 \text{ kgfcm.}$$

Se determină

$$B_i = \frac{Ne - M'_a}{bh_0^2 R_i} = \frac{37\,800 \times 86{,}2 - 782\,000}{30 \times 56{,}5^2 \times 85} = 0{,}204$$

și comparînd cu $B_p = 0{,}340$ obținut din tabela VI.13 pentru $b_p/b = 2$ și $h_p/h = 0{,}212$ se observă că axa neutră trece prin placă ($B_i < B_p$); și deci se calculează ca o secțiune dreptunghiulară cu lățimea b_p.

$$B'_0 = B_p \frac{b}{b_p} = 0{,}204 \frac{30}{60} = 0{,}102.$$

Scanned with OKEN Scanner

Din tabela VI.7 se află $\mu_1=0{,}36\%$ și secțiunea armăturii A_a rezultă

$$A_a=\mu_1\frac{b_ph_0}{100}+A'_a-\frac{N}{R_a}=0{,}36\frac{60\times 56{,}5}{100}+5{,}09-\frac{37\,800}{2\,900}=4{,}3\ \text{cm}^2$$

Exemplul VII.11. Să se determine secțiunea de armătură A_a din oțel PC 60 cunoscînd $b=20$ cm, $h=60$ cm, $b_p=40$, $h_p=12$, $a=a'=3$ cm, $N=40$ tf, $M=19$ tfm, $A'_a=4{,}02$ cm^2, $l_f=8{,}4$ m și B 200 (betonare orizontală, $R_t=125\times 0{,}85\approx 100$ kgf/cm^2).

În funcție de $\frac{h_p}{h}=\frac{12}{60}=0{,}2$ și $\frac{b}{b_p}=0{,}5$ se determină

$$y=\theta h=0{,}569\times 60=34{,}2\ \text{cm (v. fig. VII.6).}$$

Se verifică dacă este necesar să se ia în considerație flambajul; pentru aceasta se determină coeficientul $\nu=0{,}3$ în funcție de $b_p/b=2$ și $h_p/h=0{,}2$.

Deoarece $l_f/h=\frac{8{,}4}{0{,}6}=14>\bar{\gamma}=10{,}5$ se consideră flambajul. Din tabela VII.2 se determină $\rho=0{,}756$ apoi

$$n_T=\frac{N}{bhR_t}\rho=\frac{40\,000}{20\times 60\times 100}0{,}756=0{,}252.$$

Din fig. VII.3 se determină $\eta=1{,}14$ în funcție de $n_T=0{,}252$ și $l_f/h=14$.

Se calculează distanța de la forță la armătura întinsă.

$$e=e_0\eta+y-a=\frac{1\,900\,000}{40\,000}1{,}14+34{,}2-3=85{,}4\ \text{cm.}$$

Momentul preluat de armătura comprimată și o parte din armătura întinsă va fi

$$M'_a=A'_aR_a(h_0-a')=4{,}02\times 3\,400(57-3)=738\,000\ \text{kgf/cm.}$$

Se calculează $B_t=\frac{Ne-M'_a}{bh_0^2R_t}=\frac{40\,000\times 85{,}4-738\,000}{20\times 56{,}5^2\times 100}=0{,}42.$

Deoarece $B_p=0{,}340$ (v. tabela VI.13) este mai mic decît B_t, axa neutră trece prin inima grinzii. Se verifică de asemenea dacă armătura comprimată este suficientă. Pentru aceasta se determină din tabela VI.15 $B_{T\,max}$ în funcție de $h_p/h_0=0{,}212$ și $b_p/b=2$.

$$B_{T\,max}=0{,}520$$

Deoarece $B_t<B_{T\,max}$ secțiunea armăturii comprimate este suficientă.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru determinarea armăturii întinse totale A_a, se calculează preliminar momentul preluat de aripile plăcii:

$$M_a = 0{,}8(b_p - b)h_p(h_0 - 0{,}5\ h_p)R_i = 0{,}8(40-20)12(56{,}5 - \\ -0{,}5\times 12)100 = 969\,000 \text{ kgfcm.}$$

Se determină $M_1 = Ne - (M_a + M'_a) = 40\,000\times 85{,}4 - (969\,000 + \\ + 738\,000) = 1\,714\,000$ kgf/cm.

$$B_i = \frac{M_1}{bh_0^2 R_i} = \frac{1\,714\,000}{20\times 56{,}5^2\times 100} = 0{,}268.$$

Din tabela VI.7 se află $\mu_1 = 1{,}129\,\%$.

Secțiunea totală de armătură conform relației (VII.52)

$$A_a = A_{ag} + A_{ap} + A'_a - \frac{N}{R_a} = 1{,}129\,\frac{20\times 56{,}5}{100} + \frac{0{,}8(40-20)12\times 100}{3\,400} + \\ + 4{,}02 - \frac{40\,000}{3\,400} = 11{,}73 \text{ cm}^2.$$

4. Calculul secțiunilor circulare tubulare

a. *Relații de calcul*

Calculul la compresiune excentrică a elementelor cu secțiune circulară tubulară apare în special la stîlpii centrifugați. În majoritatea cazurilor elementele cu secțiune circulară tubulară au armătura uniform distribuită pe contur. În calcule armătura se consideră continuă pe o linie, iar zona comprimată a secțiunii se delimitează pentru simplificare prin două raze, cuprinzînd între ele un unghi $2\theta = 2\pi\alpha_k$.

Cînd $\theta \leqslant 90°$ calculul se face ca pentru cazul I de rupere.

Cînd $\theta > 90°$ calculul se face ca pentru cazul II de rupere.

În cazul excentricității mari ($\alpha_k \leqslant 0{,}5$) poziția axei neutre se determină din ecuația de proiecție cu ajutorul relației

$$\alpha_k = \frac{N + A_a R_a}{AR_i + 2A_a R_a}. \qquad \text{(VII.60)}$$

Scriind ecuația de moment în raport cu centrul secțiunii se obține relația

$$N\bar{e}_0 = \frac{\sin\theta}{\pi}\left(AR_i\frac{r_1 + r_2}{2} + 2A_a R_a r_a\right). \qquad \text{(VII.61)}$$

Scanned with OKEN Scanner

În fig. VII.7 se arată schema de calcul a elementelor cu secțiune circulară tubulară supuse la compresiune excentrică cu excentricitate mare (cazul I de rupere).

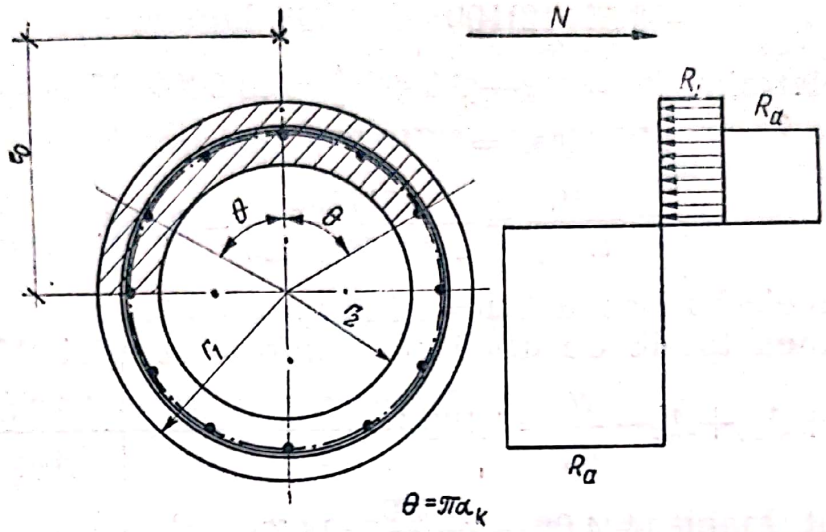


Fig. VII.7.

În cazul compresiunii excentrice cu excentricitate mică ($\alpha_k > 0{,}5$, cazul II de rupere) calculul se face cu ajutorul relației

$$N(\bar{e}_0 + r_a) \leqslant (AR_{pr} + K_a A_a R_a)\, r_a. \qquad \text{(VII.62)}$$

Pentru $\bar{e}_0 < r_a$, $K_a = 1 - \dfrac{\bar{e}_0}{3r_a}$.

Pentru $\bar{e}_0 \geqslant r_a$, $K_a = \dfrac{2}{3}$.

La determinarea excentricității se ține seama de influența flexibilității stîlpului $\bar{e}_0 = \eta e_0$.

Valoarea η se determină cu ajutorul relației (VII.10), în care

$$i = \frac{1}{4}\sqrt{D^2 + d^2}. \qquad \text{(VII.63)}$$

Pentru $\dfrac{l_f}{D} \leqslant 8$ se poate considera $\eta = 1$.

În majoritatea cazurilor raza cercului după care sînt dispuse armăturile longitudinale (r_a) este apropiată ca valoare de raza medie a secțiunii tubulare:

$$r_a = \frac{r_1 + r_2}{2} = r_m.$$

Ţinînd seama de aceasta şi introducînd suplimentar notaţiile

$$n_1 = \frac{N}{AR_i}\ ; \quad \alpha = \frac{A_a R_a}{AR_i}$$

relaţiile folosite pentru calculul elementelor supuse la compresiune excentrică cu excentricitate mare devin

$$\alpha_k = \frac{n_1}{1 + 2\alpha} \tag{VII.64}$$

$$n_1 \frac{\bar{e}_0}{r_m} \pi = (1 + 2\alpha) \sin \frac{\pi(n_1 + \alpha)}{1 + 2\alpha}\,. \tag{VII.65}$$

În tabela VII.6 se dau valorile $\frac{\bar{e}_0}{r_m}$ calculate în funcţie de n_1 şi α.

Tabela VII.6

Calculul secţiunilor circulare tubulare

Valorile $\frac{\bar{e}_0}{r_m}$

α \ n_1	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
0,05	1,454	1,262	1,146	1,059	0,982	0,910	0,840	0,770	0,700
0,10	1,910	1,550	1,350	1,212	1,103	1,008	0,922	0,842	0,764
0,15	2,351	1,829	1,549	1,362	1,221	1,105	1,004	0,919	0,828
0,20	2,779	2,101	1 742	1,509	1,339	1,202	1,086	0,984	0,891
0,25	3,195	2,365	1,931	1,654	1,454	1,267	1,168	1,055	0,955
0,30	3,601	2,625	2,117	1,797	1,568	1,392	1,249	1,126	1,019
0,35	3,999	2,879	2,300	1,938	1,682	1,487	1,330	1,197	1,082
0,40	4,389	3,129	2,481	2 077	1,795	1,581	1,411	1,268	1,146
0,45	4,772	3,375	2,659	2,215	1,907	1,675	1,491	1,339	1 210
0,50	5,150	3,619	2,835	2,353	2,018	1,769	1,572	1,410	1,273
0,55	5,523	3,859	3,011	2,489	2 129	1,862	1,652	1,482	1,337
0,60	5,891	4,097	3,185	2,624	2,240	1,955	1,733	1,552	1,401
0,65	6,255	4,334	3,357	2,759	2,350	2,048	1,813	1,623	1,464
0,70	6,616	4,568	3,529	2,894	2,460	2,141	1,894	1,694	1,528
0,75	6,973	4,800	3,699	3,027	2,569	2,233	1,974	1,765	1,592
0,80	7,328	5,031	3,869	3,161	2,678	2,326	2,054	1,836	1,655

Cunoscînd solicitarea de calcul, dimensiunile geometrice ale secţiunii şi caracteristicile materialelor, se determină secţiunea necesară a armăturii după cum se arată în continuare.

Calculînd $n_1 = \frac{N}{AR_i}$ şi $\frac{\eta e_0}{r_m}$ se determină din tabela VII.6 valoarea lui α. Secţiunea totală a armăturii se determină cu relaţia

$$A_a = \alpha A \frac{R_i}{R_a}\,. \tag{VII.66}$$

Scanned with OKEN Scanner

Cunoscînd secţiunea elementului, caracteristicile materialelor şi excentricitatea, se poate determina valoarea limită a solicitării de calcul.

Calculînd $\frac{\eta e_0}{r_m}$ şi $\alpha = \frac{A_a R_a}{A R_i}$ rezultă din tabela VII.6 valoarea n_1.

Capacitatea portantă a stîlpului se determină cu relaţia

$$N = n_1 A R_i. \qquad \text{(VII.67)}$$

Pentru stîlpii centrifugaţi cu secţiune circulară tubulară, chiar la grosimi mici ale pereţilor, se vor folosi rezistenţele de calcul nereduse cu coeficienţii suplimentari ai condiţiilor de lucru.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul VII.12. Să se determine secţiunea necesară a armăturii pentru stîlpul centrifugat cu secţiune circulară tubulară, cunoscînd diametrul exterior, $D=52$ cm; diametrul interior $d=38$ cm; solicitarea de calcul $N=60$ tf şi $M=24$ tfm; lungimea de flambaj $l_f=12$ m; marca betonului B 400 cu $R_i=210$ kgf/cm^2; tipul armăturii PC 52 cu $R_a=2\,900$ kgf/cm^2.

$$r_2 = \frac{D}{2} = 26 \text{ cm}, \quad r_1 = \frac{d}{2} = 19 \text{ cm}$$

$$A = \pi(r_2^2 - r_1^2) = 989{,}61 \text{ cm}^2;$$

$$n_1 = \frac{N}{AR_i} = \frac{60\,000}{989{,}61 \times 210} = 0{,}289.$$

Se consideră $r_a = r_m = 22{,}5$ cm

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{2\,400\,000}{60\,000} = 40 \text{ cm}$$

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{4\,800 A R_i}\left(\frac{l_f}{i}\right)^2} = \frac{1}{1 - \frac{n_1}{4\,800}\left(\frac{l_f}{i}\right)^2}$$

$$i = \frac{1}{4}\sqrt{D^2 + d^2} = \frac{1}{4}\sqrt{52^2 + 38^2} = 16 \text{ cm}$$

$$\frac{l_f}{i} = \frac{1\,200}{16} = 75; \quad \eta = \frac{1}{1 - \frac{0{,}289 \times 5\,625}{4\,800}} = \frac{1}{1 - 0{,}338} = 1{,}51$$

$$\frac{e_0 \eta}{r_m} = \frac{40 \times 1{,}51}{22{,}5} = 2{,}68$$

Din tabela VII.6 se obţine prin interpolare $\alpha = 0{,}8$.

Scanned with OKEN Scanner

Introducînd în formula (VII.64) se obține $\alpha_k=0{,}419<0{,}5$ (cazul I de rupere).

$$A_a=\alpha A\frac{R_i}{R_a}=0{,}8\times 989{,}61\,\frac{210}{2\,900}=57{,}1\ \text{cm}^2.$$

Se aleg 15 ∅ 22 mm ($A_a=57$ cm^2).

Exemplul VII.13. Să se determine sarcina capabilă a unui stîlp centrifugat de beton armat cu secțiunea circulară tubulară, cunoscînd diametrul exterior, $D=41{,}8$ cm; $r_2=\frac{D}{2}=$ $=20{,}9$ cm; diametrul interior, $d=30{,}8$ cm; $r_1=\frac{d}{2}=15{,}4$ cm; $A=\pi(r_2^2-r_1^2)=627$ cm^2.

Armarea se face cu 14 bare PC 60 cu ∅ 14 mm; $A_a=$ $=21{,}55$ cm^2 și $R_a=3\,400$ kgf/cm^2; marca betonului B 400 cu $R_i=210$ kgf/cm^2; lungimea de flambaj $l_f=10$ m. Forța se aplică cu o excentricitate de 50 cm, deci se apreciază $n_1=0{,}16$.

$$i=\frac{1}{4}\sqrt{D^2+a^2}=\frac{1}{4}\sqrt{41{,}8^2+38^2}=11{,}3\ \text{cm}$$

$$\left(\frac{l_f}{i}\right)^2=\left(\frac{1\,000}{11{,}3}\right)^2=7\,840$$

$$\eta=\frac{1}{1-\frac{n_1}{4\,800}\left(\frac{l_f}{i}\right)^2}=\frac{1}{1-\frac{0{,}16}{4\,800}7\,840}=1{,}355$$

$$e_0\eta=50\times 1{,}355=67{,}75\ \text{cm}.$$

Se consideră $r_a=\frac{r_1+r_2}{2}=18{,}15$ m

$$\alpha=\frac{A_aR_a}{AR_i}=\frac{21{,}55\times 3\,400}{627\times 210}=0{,}556$$

$$\frac{e_0\eta}{r_m}=3{,}73.$$

Din tabela VII.6 se obține prin interpolare $n_1=0{,}16$.

Dacă nu s-ar fi ajuns la aceeași valoare s-ar fi repetat calculul.

$$N=n_1\,A\,R_i=0{,}16\times 627\times 210=21{,}02\ \text{tf}.$$

Exemplul VII.14. Să se determine secțiunea necesară a armăturii pentru stîlpul centrifugat de beton armat, cunoscînd

Scanned with OKEN Scanner

$N=80$ tf, $e_0=20$ cm, $D=40$ cm, $r_2=\frac{D}{2}=20$ cm, $d=28$ cm, $r_1=\frac{d}{2}=14$ cm, marca betonului B 400 cu $R_i=210$ kgf/cm², tipul armăturii PC 52 cu $R_a=2\,900$ kgf/cm².

$$l_f=3 \text{ m}$$

$$\frac{l_f}{D}=\frac{300}{40}=7{,}5<8,\ \eta=1$$

$$r_a=\frac{r_1+r_2}{2}=\frac{20+14}{2}=17 \text{ cm}$$

$$A=\pi\,(r_2^2-r_1^2)=640{,}89 \text{ cm}^2$$

$$n_1=\frac{N}{AR_i}=\frac{80\,000}{640{,}89\times 210}=0{,}594>0{,}5 \text{ (cazul II)}.$$

Pentru calcul se folosește relația (VII.62).

Deoarece $e_0=20$ cm$>r_a$, $K_a=\frac{2}{3}$

$$N(e_0+r_a)=(0{,}8\,A\,R_i+\frac{2}{3}A_a\,R_a)\,r_a$$

$$A_a=\frac{N\left(\frac{e_0}{r_a}+1\right)-0{,}8\,AR_i}{\frac{2}{3}R_a}=\frac{80\,000\left(\frac{20}{17}+1\right)-0{,}8\times 640{,}89\times 210}{\frac{2}{3}\,2\,900}=$$

$$=34{,}36 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 11 ∅ 20 mm ($A_a=34{,}5$ cm²).

5. Compresiune excentrică oblică

a. *Relații de calcul*

Elementele cu secțiune simetrică în raport cu două axe perpendiculare între ele solicitate simultan de o forță axială și de momente încovoietoare acționînd în ambele plane de simetrie ale elementului (compresiune excentrică oblică, fig. VII.8), se calculează cu ajutorul relației

$$N\leqslant\frac{1}{\frac{1}{N_x}+\frac{1}{N_y}-\frac{1}{N_0}} \qquad \text{(VII.68)}$$

în care: N este forța axială de calcul (rezultanta încărcărilor de calcul);

N_0 — forța longitudinală de calcul care poate fi preluată de secțiune în cazul solicitării la compresiune centrică;

N_x — forța longitudinală de calcul care poate fi preluată de secțiune în cazul în care punctul de aplicație al forței se află pe axa x—x, cu excentricitatea e_{0x};

N_y — idem, în cazul în care punctul de aplicație al forței se află pe axa y—y, cu excentricitatea e_{0y}.

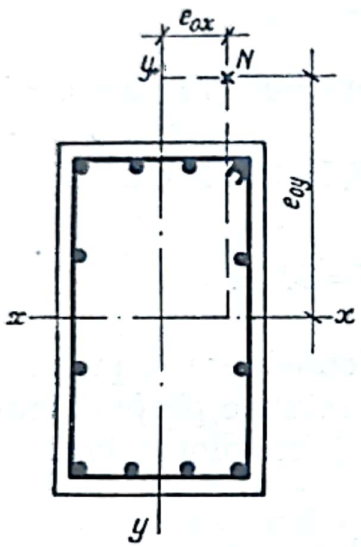


Fig. VII.8.

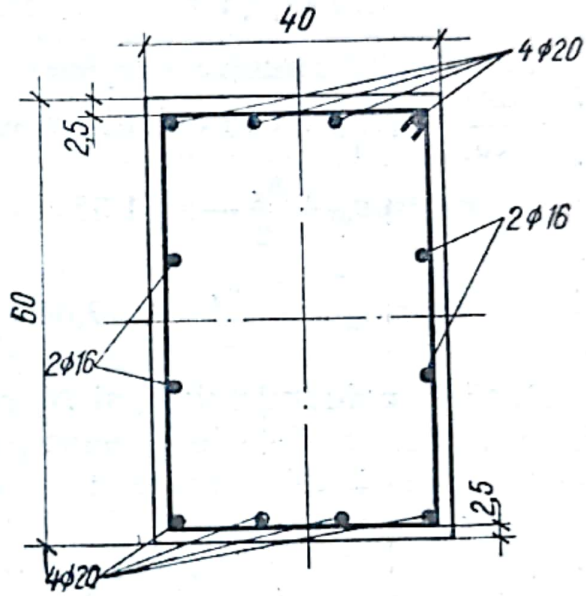


Fig. VII.9.

Influența flambajului se ia în considerație la determinarea forțelor N_x și N_y conform prevederilor generale de la compresiune excentrică (v. cap. VII, 1), valoarea coeficientului stabilindu-se pe baza forței de calcul N.

La determinarea forței N_0 nu se ține seamă de influența flambajului.

b. *Exemplu de calcul*

Exemplul VII.15. Să se verifice secțiunea din fig. VII.9 solicitată la compresiune excentrică oblică. Stîlpul este executat din beton B 200 și este armat cu bare de oțel PC 52.

Scanned with OKEN Scanner

Se consideră ca solicitări de calcul $N=125$ tf, $M_x=6{,}5$ tfm, $M_y=9{,}8$ tfm, și lungimea de flambaj a stîlpului (pe ambele direcții) $l_f=5{,}20$ m.

$$e_{ox}=\frac{650}{125}=5{,}2 \text{ cm}$$

$e_{oy}=\frac{980}{125}=7{,}84$ cm (excentricitate mică pe ambele direcții).

$$R_i=0{,}85\times100=85 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\eta_x=\frac{1}{1-\frac{N}{400AR_i}\left(\frac{l_f}{h_x}\right)^2}=\frac{1}{1-\frac{125\,00\,1}{400\times40\times60\times85}\left(\frac{520}{4\,.}\right)^2}=1{,}35.$$

Pe cealaltă direcție

$\frac{l_f}{h_y}=\frac{520}{60}<10$, deci în calcul nu se ia în considerație flambajul.

$$e_x=\eta_x e_{0x}+\frac{h_x}{2}-a=1{,}35\times5{,}2+\frac{40}{2}-3{,}5=23{,}52 \text{ cm}$$

$$e_y=\eta_y e_{0y}+\frac{h_y}{2}-a=7{,}84+\frac{60}{2}-3{,}5=34{,}34 \text{ cm}.$$

Dacă în calculul lui N_x și N_y se iau în considerație (acoperitor) numai armăturile dispuse paralel cu laturile perpendiculare pe planul de acțiune al momentului încovoietor luat în considerație, rezultă

$$N_x=\frac{0{,}4bh_0^2R_t+A'_aR_a(h_0-a')}{e_x}=$$

$$=\frac{0{,}4\times60\times36{,}5^2\times85+10{,}3\times2\,900(36{,}5-3{,}5)}{23{,}52}=157\,800 \text{ kgf}=157{,}8 \text{ tf}$$

$$N_y=\frac{0.4\times40\times56{,}5^2\times85+12{,}56\times2\,900(56{,}5-3{,}5)}{34{,}34}=$$

$$=182\,700 \text{ kgf}=182{,}7 \text{ tf}.$$

$$N_0=A_bR_{pr}+A_aR_a=40\times60\times0{,}85\times80+33{,}16\times2\,900=$$

$$=259\,300 \text{ kgf}=259{,}3 \text{ tf}.$$

$$N=\frac{1}{\frac{1}{N_x}+\frac{1}{N_y}-\frac{1}{N_0}}=\frac{1}{\frac{1}{157{,}8}+\frac{1}{182{,}7}-\frac{1}{259{,}3}}=125{,}6 \text{ tf}\approx125 \text{ tf}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se ia în considerație și la calculul lui N_x și N_y toate armăturile

$$N_x = 157\,800 + \frac{12{,}56 \times 2\,900\,(20 - 3{,}5)}{23{,}52} = 183\,300 \text{ kgf} = 183{,}3 \text{ tf.}$$

$$N_y = 182\,700 + \frac{8{,}04 \times 2\,900\,(20 - 3{,}5)}{34{,}34} = 200\,700 \text{ kgf} = 200{,}7 \text{ tf.}$$

$$N = \frac{1}{\frac{1}{183{,}3} + \frac{1}{200{,}7} - \frac{1}{259{,}3}} = 152\,000 \text{ kgf} = 152 \text{ tf.}$$

Diferența față de aproximația anterioară este sensibilă.

6. Calculul la fisurare și deformație

a. *Relații de calcul*

La elementele solicitate la compresiune excentrică cu excentricitate mare, calculul la apariția fisurilor se poate face pe baza ipotezelor din cap. III ca pentru elemente de beton simplu, adăugînd armăturile întinse, care se consideră că lucrează în momentul apariției fisurilor cu un efort unitar egal cu 200 kgf/cm^2. La determinarea poziției axei neutre se poate neglija în calcul armătura. În normativul P. 8-62 nu se prevede acest calcul, admițîndu-se că apariția fisurilor nu trebuie considerată ca o stare limită pentru elementele de beton armat.

Calculul la starea limită de deschidere a fisurilor (tot la elementele solicitate la compresiune excentrică cu excentricitate mare) se face cu relația generală

$$\alpha_f = \beta_f \frac{A_{bt}}{u} \frac{\psi \sigma_a}{E_a} \qquad \text{(VII.69)}$$

în care β_f are aceleași valori ca la încovoiere (v. cap. VI, C, 3).

A_{bt} este aria zonei întinse de beton în momentul apariției fisurilor și se determină pe baza ipotezelor generale de la cap. III, 1;

u — perimetrul total al armăturilor întinse din secțiune.

Scanned with OKEN Scanner

Coeficientul ψ se determină cu relația

$$\psi = 1 - \bar{\beta}\frac{A_{bt}R_t^n}{A_a\sigma_a} \qquad \text{(VII.70)}$$

în care coeficientul $\bar{\beta}$ se determină ca la încovoiere.

Deschiderea fisurilor nu trebuie să depășească valorile prevăzute la cap. VI, C, 3, a.

Pentru elementele solicitate la compresiune excentrică cu excentricitate mare, rigiditatea se calculează cu relațiile din cap. VI, C.

Pentru elementele solicitate la compresiune excentrică cu excentricitate mică rigiditatea se poate determina cu relația

$$K = \frac{E_b}{1+v\varphi}A_b + E_aA_a \qquad \text{(VII.71)}$$

în care A_b se consideră egală cu aria zonei de beton avînd drept centru de greutate punctul de aplicație al forței exterioare N, iar A_a este aria secțiunii armăturilor cuprinsă în această zonă.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul VII.16. Să se determine deschiderea fisurilor în stadiul de exploatare la stîlpul din fig. VII.10, coeficientul

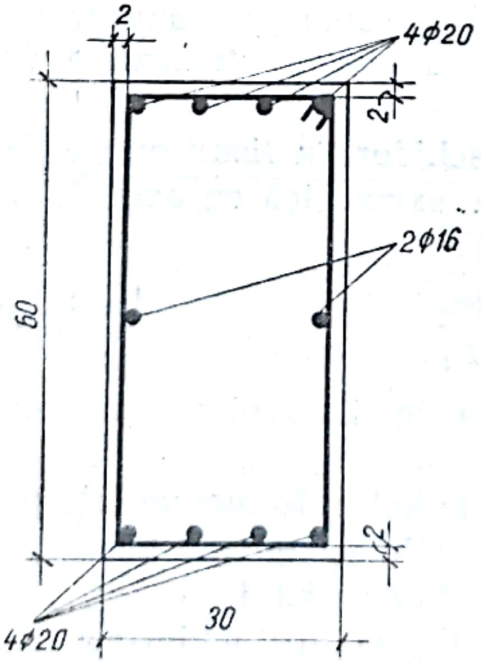


Fig. VII.10.

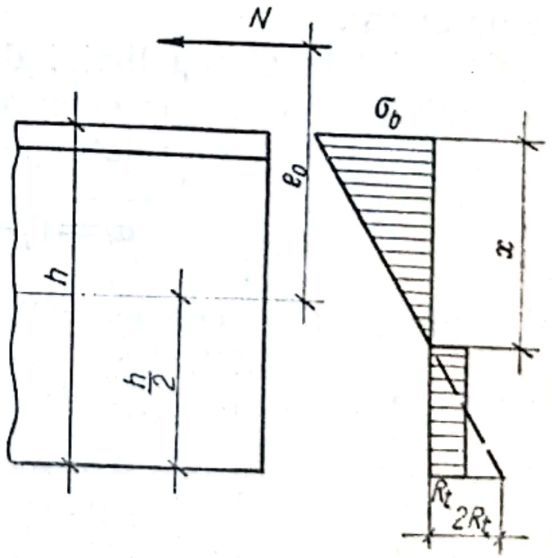


Fig. VII.11.

mediu de supraîncărcare fiind $\bar{n}=1{,}25$, iar raportul dintre încărcarea de lungă durată și încărcarea totală $v=0{,}5$.

$$\beta_f = 1{,}3\left(0{,}5 + 30\,\frac{\mu}{4bh_0}\right) = 1{,}3\left(0{,}5 + 30\,\frac{56{,}5}{4\times 30\times 54}\right) = 0{,}99$$

(spor de 30% pentru acoperire sub 1,5 d).

Pentru a stabili valoarea lui A_{bt} se determină poziția axei neutre în momentul apariției fisurilor. Folosind ipotezele de la cap. III, 2 se deduce (fig. VII.11) momentul față de forța excentrică N, cu neglijarea aportului armăturilor

$$bx\,\frac{\sigma_b}{2}\left(e_0 - \frac{h}{2} + \frac{x}{3}\right) = b\,(h-x)\,R_t\left(e_0 + \frac{h}{2} - \frac{h-x}{2}\right),$$

$$\frac{x}{h-x}\,\frac{\sigma_b}{2R_t} = \frac{3\,(2e_0 + x)}{6e_0 - 3h + 2x}.$$

Folosind ipoteza secțiunilor plane rezultă

$$\frac{\sigma_b}{2R_t} = \frac{x}{h-x}$$

și înlocuind, se obține

$$\frac{x^2}{(h-x)^2} = \frac{3\,(2e_0 + x)}{6e_0 - 3h + 2x}$$

$$x^3 - 3hx^2 + 3hx\,(h - 4e_0) + 6e_0h^2 = 0.$$

Pentru cazul considerat

$$x^3 - 180\,x^2 + 180\,(60 - 4\times 117)\,x + 6\times 117\times 60^2 = 0$$

$$x^3 - 180\,x^2 - 73\,400\,x + 2\,523\,000 = 0;$$

$$x = 32{,}2 \text{ cm}$$

$$A_{bt} = b\,(h-x) = 30\,(60 - 32{,}2) = 834 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{R_a}{\bar{n}} = \frac{2\,100}{1{,}25} = 1\,680 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\bar{p} = 0{,}2\,(1 - 0{,}6\times 0{,}5) = 0{,}14$$

$$\psi = 1 - \bar{p}\,\frac{A_{bt}R_t^n}{A_a\sigma_a} = 1 - 0{,}14\,\frac{834\times 16}{32{,}16\times 1\,680} \approx 0{,}97$$

$$a_f = \beta_f\,\frac{A_{bt}}{u}\,\psi\,\frac{\sigma_a}{E_a} = 0{,}99\,\frac{834}{56{,}5}\,0{,}97\,\frac{1\,680}{2\,100\,000} \approx 0{,}011 \text{ cm} \approx 0{,}11 \text{ mm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Exemplul VII.17. Să se determine cantităţile de armătură A_a şi A'_a necesare pentru un stîlp de beton armat turnat vertical de secţiune dreptunghiulară 30×60 cm care trebuie să preia solicitările de calcul $N=24$ tf, $M=28$ tfm.

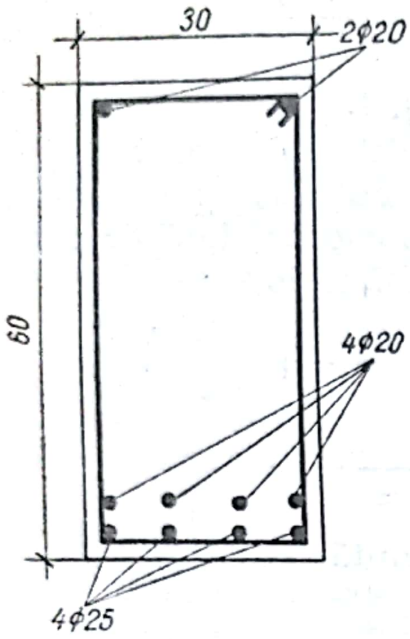


Fig. VII.12.

Stîlpul se execută din beton B 200 şi este armat cu bare din oţel OL 38 (fig. VII.12).

Lungimea de flambaj pe direcţia momentului $l_f=9{,}00$ m (pe cealaltă direcţie flambajul fiind împiedicat).

$$e_0=\frac{M}{N}=\frac{2\,800}{24}=$$

$=117$ cm (excentricitate mare).

$$\frac{l_f}{h}=\frac{900}{60}=15$$

$$R_i=0{,}85\times100=85 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\eta=\frac{1}{1-\dfrac{N}{400bhR_i}\left(\dfrac{l_f}{h}\right)^2}=\frac{1}{1-\dfrac{24\,000}{400\times30\times60\times85}\cdot15^2}=1{,}1$$

$$e=\eta e_0+\frac{h}{2}-a=1{,}1\times117+30-5=153{,}7 \text{ cm}$$

$$A'_a=\frac{Ne-0{,}4bh_0^2R_i}{R_a(h_0-a)}=\frac{24\,000\times153{,}7-0.4\times30\times55^2\times85}{2\,100(55-3)}=5{,}55 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 2 ∅ 20 mm ($A'_a=6{,}28$ cm²).

$$A_a=0{,}55\,bh_0\frac{R_i}{R_a}+A'_a-\frac{N}{R_a}=0{,}55\times30\times55\,\frac{85}{2\,100}+5{,}55-$$

$$-\frac{24\,000}{2\,100}=30{,}9 \text{ cm}^2$$

Se aleg 4 ∅ 25+4 ∅ 20 mm ($A_a=32{,}16$ cm²).

VIII

ELEMENTE DE BETON ARMAT ÎNTINSE EXCENTRIC

1. Relaţii de calcul

a. *Starea limită de rezistenţă în secţiuni normale*

Elementele de beton armat solicitate la întindere excentrică se consideră că lucrează cu:

— excentricitate mică, daca forţa N acţionează între centrele de greutate ale secţiunilor armăturilor A_a şi A'_a (fig. VIII.1);

— excentricitate mare, dacă forţa N acţionează în afara distanţei dintre centrele de greutate ale secţiunilor armăturilor A_a şi A'_a (fig.VIII.2).

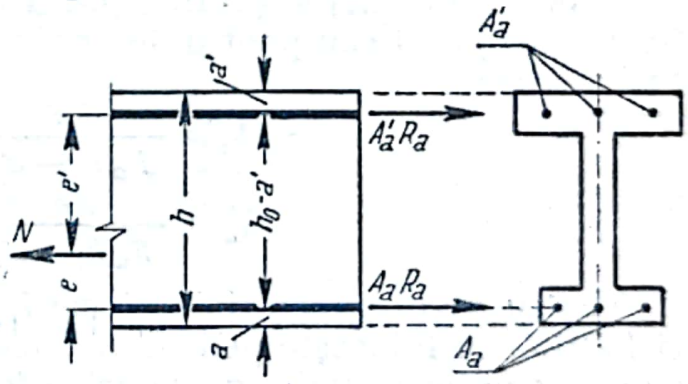


Fig. VIII.1.

Calculul secţiunilor la starea limită de rezistenţă în secţiuni normale pe axa elementului, se face după cum urmează:

a) pentru elemente solicitate la întindere excentrică cu excentricitate mică, cu secţiune dreptunghiulară, T, I sau casetată, cu ajutorul relaţiilor

$$N \leqslant \frac{S_a R_a}{e}; \qquad \text{(VIII.1)}$$

$$N \leqslant \frac{S'_a R_a}{e'}; \qquad \text{(VIII.2)}$$

Scanned with OKEN Scanner

b) pentru elemente solicitate la întindere excentrică cu excentricitate mare, cu secțiune dreptunghiulară, T, I sau casetată

— fie cu ajutorul relației

$$N \leqslant A_a R_a - A'_a R_a - A_b R_i \qquad \text{(VIII.3)}$$

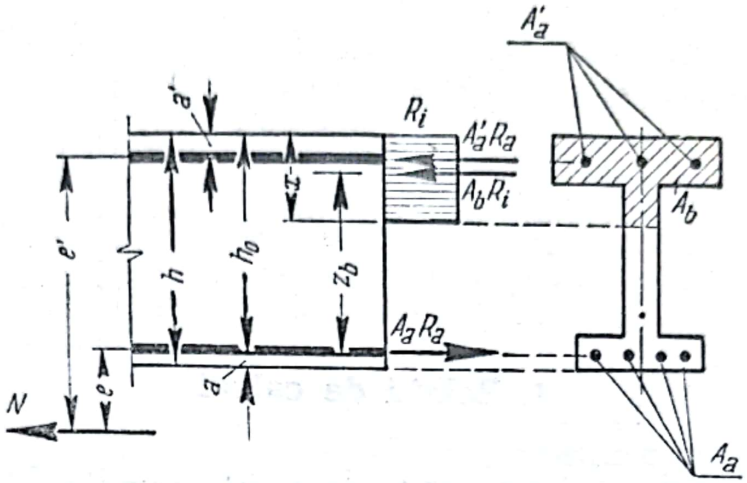


Fig. VIII.2.

determinînd poziția axei neutre cu relația

$$S_{bN} R_i + A'_a R_a e' - A_a R_a e = 0; \qquad \text{(VIII.4)}$$

— fie cu ajutorul relației

$$Ne \leqslant S_b R_i + S_a R_a, \qquad \text{(VIII.5)}$$

determinînd poziția axei neutre cu relația (VIII.3).

Relațiile (VIII.1) și (VIII.2) pot fi întrebuințate pentru verificarea secțiunii sau pentru determinarea cantităților de armătură necesare.

$$A_a \geqslant \frac{Ne'}{R_a(h_0 - a')}; \qquad \text{(VIII.6)}$$

$$A'_a \geqslant \frac{Ne}{R_a(h_0 - a')}. \qquad \text{(VIII.7)}$$

Pentru cazul excentricității mari, grupul de relații (VIII.3) și (VIII.4) se folosește pentru verificarea unei secțiuni la care se cunosc dimensiunile geometrice (secțiunea de beton și cantitățile de armătură A_a și A'_a), caracteristicile de calcul ale materialelor, precum și excentricitatea forței. Pentru aceasta, din relația (VIII.4) se determină poziția axei neutre, stabilind astfel aria zonei comprimate A_b; din relația (VIII.3) se stabilește valoarea maximă pentru N.

Grupul de relații (VIII.5) și (VIII.3) poate fi folosit:

— pentru verificarea unei secțiuni la care se cunosc dimensiunile geometrice și caracteristicile de calcul ale mate-

Scanned with OKEN Scanner

rialelor precum și forța N, urmînd a determina excentricitatea maximă admisă; se folosește relația (VIII.5) în care S_b se calculează ținînd seama de poziția axei neutre determinată cu relația (VIII.3);

— pentru determinarea cantității de armătură A_a, dacă se cunosc solicitarea N și e, dimensiunile geometrice ale secțiunii de beton, caracteristicile de calcul ale materialelor și se alege A'_a.

Alegerea armăturii din zona comprimată A'_a se face ținînd seama de obligativitatea respectării condiției

$$S_b \leqslant 0{,}8\, S_0. \tag{VIII.8}$$

Pentru aceasta, se deduce din (VIII.5) că dacă

$$\frac{Ne}{R_i} \leqslant 0{,}8\, S_0, \tag{VIII.9}$$

nu este necesar din calcul să se prevadă armătură în zona comprimată. Se dispune totuși constructiv o cantitate de armătură A'_a corespunzătoare procentului minim de armare (v. cap. II). Se determină A_a dintr-un sistem de două ecuații (VIII.3) și (VIII.5), cu două necunoscute (A_a și x — înălțimea zonei comprimate); A'_a se introduce cu valoarea aleasă, corespunzătoare procentului minim de armare, sau se neglijează, acoperitor.

Dacă însă

$$\frac{Ne}{R_i} > 0{,}8\, S_0 \tag{VIII.10}$$

este necesar să se prevadă armătură comprimată, determinată cu relația (VIII.5), în care S_b se înlocuiește cu valoarea sa maximă $0{,}8\, S_0$

$$A'_a \geqslant \frac{Ne - 0{,}8\, S_0 R_i}{R_a(h_0 - a')}. \tag{VIII.11}$$

Pentru elementele întinse excentric cu excentricitate mare, avînd secțiunea dreptunghiulară, relația (VIII.3) se poate explicita după cum urmează

$$N \leqslant A_a R_a - A'_a R_a - b\, x\, R_i \tag{VIII.3a}$$

$$x = h_0 + e - \sqrt{(h_0 + e)^2 - \frac{2R_a(A_a e - A'_a e')}{bR_i}} \tag{VIII.4a}$$

$$Ne \leqslant bxR_i\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + A'_a R_a(h_0 - a') \tag{VIII.5a}$$

$$x = \frac{(A_a - A'_a)\, R_a - N}{bR_i}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Condiția (VIII.8) devine

$$x \leqslant 0{,}55\, h_0, \qquad \text{(VIII.8a)}$$

iar relațiile (VIII.9) și (VIII.10) se scriu sub forma

$$\frac{Ne}{R_t} \leqslant 0{,}4\, bh_0^2 R_t; \qquad \text{(VIII.9a)}$$

$$\frac{Ne}{R_t} > 0{,}4\, bh_0^2 R_t. \qquad \text{(VIII.10a)}$$

Cantitatea de armătură comprimată A'_a necesară în cazul corespunzător relației (VIII.10a) se determină cu relația

$$A'_a = \frac{Ne - 0{,}4\, bh_0^2 R_t}{R_a (h_0 - a')}. \qquad \text{(VIII.11a)}$$

Elementele întinse excentric cu excentricitate mare ale căror secțiuni nu respectă condiția

$$z_b \leqslant h_0 - a', \qquad \text{(VIII.12)}$$

respectiv pentru secțiuni dreptunghiulare

$$x \geqslant 2a', \qquad \text{(VIII.12a)}$$

se calculează cu ajutorul relației

$$Ne' \leqslant A_a R_a (h_0 - a'). \qquad \text{(VIII.13)}$$

Capacitatea portantă a secțiunii se consideră egală cu valoarea rezultată din relația (VIII.13), însă cel puțin egală cu capacitatea portantă calculată ca pentru o secțiune simplu armată neglijîndu-se aportul armăturii din zona comprimată.

Observație. Pentru elementele solicitate la întindere excentrică cu excentricitate mare, la care armătura întinsă este dispusă pe mai multe rînduri și $\frac{y_G}{y_1} < 0{,}9$ se va introduce și coeficientul condițiilor de lucru m. (y_G este distanța de la axa neutră pînă la centrul de greutate al armăturilor întinse, iar y_1, distanța de la axa neutră la rîndul de armături cel mai apropiat de latura întinsă a secțiunii).

b. *Folosirea tabelelor pentru calculul la starea limită de rezistență în secțiuni normale*

Pentru calculul elementelor solicitate la întindere excentrică cu excentricitate mare, se pot folosi tabelele VI.3, VI.4, VI.5 și VI.6 de la încovoiere, după cum se arată în continuare.

Scanned with OKEN Scanner

Verificarea secțiunii. Se dau dimensiunile geometrice (secțiunea de beton, ariile secțiunilor de armătură A_a și A'_a), caracteristicile de calcul ale materialelor și forța N; se cere excentricitatea maximă ce se poate admite (sau se dă și excentricitatea și se cere să se verifice dacă secțiunea rezistă în bune condiții la solicitarea de calcul).

Pentru aceasta se determină

$$M_1 = A'_a R_a (h_0 - a') \qquad \text{(VIII.14)}$$

$$A_{a1} = A_a - A'_a - \frac{N}{R_a} \qquad \text{(VIII.15)}$$

$$\mu = \frac{A_{a1}}{bh_0}. \qquad \text{(VIII.16)}$$

Corespunzător lui μ se scoate din tabelele VI.3, VI.4, VI.5, VI.6, coeficientul B.

Rezultă

$$Ne = Bbh_0^2 + M_1. \qquad \text{(VIII.17)}$$

Cînd se lucrează cu tabelele VI.7, VI.8, VI.9 se intră cu valoarea

$$\xi = \frac{A_{a1}}{bh_0} \frac{R_a}{R_i}, \qquad \text{(VIII.18)}$$

se determină B_0 și se calculează

$$Ne = B_0 bh_0^2 R_i + M_1. \qquad \text{(VIII.19)}$$

Coeficientul B, respectiv B_0, nu trebuie să depășească valorile maxime prevăzute în tabelele VI.3—VI.9. De asemenea trebuie verificată condiția (VIII.12), respectiv (VIII.12a).

Dimensionarea. De obicei se dau sau se aleg dimensiunile secțiunii de beton, caracteristicile de calcul ale materialelor, forța N și excentricitatea ei și se cer cantitățile de armătură A_a și A'_a.

Se determină

$$B = \frac{Ne}{bh_0^2}; \qquad \text{(VIII.20)}$$

$$B_0 = \frac{Ne}{bh_0^2 R_i}. \qquad \text{(VIII.21)}$$

Dacă B sau B_0 depășesc valorile maxime prevăzute în tabelele VI.3—VI.9, se va prevedea o armătură comprimată

$$A'_a = \frac{(B - B_{max}) bh_0^2}{R_a (h_0 - a')}; \qquad \text{(VIII.22)}$$

$$A'_a = \frac{(B_0 - B_{0max}) bh_0^2 R_i}{R_a (h_0 - a')}. \qquad \text{(VIII.23)}$$

Scanned with OKEN Scanner

Cantitatea de armătură A_a se determină în acest caz cu relaţiile

$$A_a = \mu_{max} b h_0 + A'_a + \frac{N}{R_a}. \qquad \text{(VIII.24)}$$

$$A_a = 0{,}55 b h_0 \frac{R_i}{R_a} + A'_a + \frac{N}{R_a}. \qquad \text{(VIII.25)}$$

Dacă B sau B_0 sînt mai mici decît valorile maxime din tabelele VI.3—VI.9, se prevede de obicei în zona comprimată procentul minim de armare. Neglijînd aportul acestei cantităţi de armătură, se deduce

$$A_a = \mu b h_0 + \frac{N}{R_a}; \qquad \text{(VIII.26)}$$

$$A_a = \xi b h_0 \frac{R_i}{R_a} + \frac{N}{R_a}. \qquad \text{(VIII.27)}$$

unde μ sau ξ sînt scoşi din tabele corespunzător valorii B, respectiv B_0.

Dacă se prevede o cantitate mai mare de armătură în zona comprimată sau în general dacă se ţine seamă de această armătură A'_a, se calculează

$$M_2 = Ne — A'_a R_a (h_0 — a') \qquad \text{(VIII.28)}$$

şi se determină B, respectiv B_0, corespunzător lui M_2. Se scot din tabelele VI.3—VI.9 valorile μ, respectiv ξ şi se deduce

$$A_a = \mu b h_0 + A'_a + \frac{N}{R_a}; \qquad \text{(VIII.29)}$$

$$A_a = \xi b h_0 \frac{R_i}{R_a} + A'_a + \frac{N}{R_a}. \qquad \text{(VIII.30)}$$

Este necesar să fie respectată condiţia (VIII.12), respectiv (VIII.12a).

Atît la verificare, cît şi la dimensionarea unei secţiuni dacă această secţiune are placă în zona comprimată, se va ţine seamă în calcule de momentul încovoietor suplimentar preluat de placă şi o cantitate corespunzătoare de armătură în zona întinsă, ca la încovoiere şi compresiune excentrică

$$M_3 = 0{,}8 (b_p - b) h_p R_i \left(h_0 - \frac{h_p}{2}\right) \qquad \text{(VIII.31)}$$

$$A_{a3} = \frac{M_3}{R_a \left(h_0 - \frac{h_p}{2}\right)} = \frac{0{,}8 (b_p - b) h_p R_i}{R_a}. \qquad \text{(VIII.32)}$$

Scanned with OKEN Scanner

c. *Calculul deschiderii fisurilor și rigidității*

Calculul la starea limită de deschidere a fisurilor se face cu relația generală

$$a_f = \beta_f \frac{A_{bt}}{u} \frac{\psi \sigma_a}{E_a}.$$

La elementele solicitate la întindere excentrică cu excentricitate mare, valorile β_f se iau aceleași ca la încovoiere (v. cap. VI, C):

— pentru bare de oțel OL 38, $\beta_f = 0{,}5 + 30 \frac{\mu}{d}$;

— pentru bare de oțel TOR 47 și TOR 57, $\beta_f = 0{,}4 + 30 \frac{\mu}{d}$;

— pentru bare de oțel PC 52 și PC 60, $\beta_f = 0{,}35 + 30 \frac{\mu}{d}$;

— pentru plase sudate din sîrmă trasă mată $\beta_f = 0{,}9$.

La elemente solicitate la întindere excentrică cu excentricitate mică, valorile β_f se sporesc cu 30%.

Dacă acoperirea cu beton a barelor de armătură sau distanța dintre aceste bare (lumina) este mai mică decît 1,5 d, sau în cazul barelor așezate pe mai mult de două rînduri, valorile β_f se sporesc cu 30% independent de sporul prevăzut la întindere excentrică cu excentricitate mică.

A_{bt}, aria zonei întinse de beton în momentul apariției fisurilor, se determină după cum urmează:

— pentru întindere excentrică cu excentricitate mare, ca la elementele încovoiate;

— pentru întindere excentrică cu excentricitate mică, ca la elementele întinse centric.

u reprezintă perimetrul total al armăturilor întinse din secțiune.

Coeficientul ψ se determină ca la încovoiere respectiv întindere centrică.

Dacă nu există prescripții speciale care să indice valori limită mai reduse, deschiderea calculată a fisurilor nu trebuie să depășească:

— 0,10 mm pentru elementele care se află în condițiile unui mediu agresiv sau care lucrează la întindere excentrică cu excentricitate mică și se află sub presiunea unui lichid;

— 0,20 mm pentru elementele care se află sub presiunea unui material necoeziv sau lucrează la întindere excentrică cu excentricitate mare și se află sub presiunea unui lichid;

Scanned with OKEN Scanner

— 0,30 mm pentru celelalte elemente.

Pentru elementele solicitate la întindere excentrică cu excentricitate mare, modulul de rigiditate se calculează ca la încovoiere.

Pentru elementele solicitate la întindere excentrică cu excentricitate mică, modulul de rigiditate se determină ca la întinderea centrică.

2. Exemple de calcul

Exemplul VIII.1. Să se dimensioneze un tirant de beton armat solicitat de o forță axială de calcul $N=88$ tf și un moment încovoietor $M=3{,}4$ tfm. Tirantul este armat cu bare din oțel PC 52.

$$e_0=\frac{M}{N}=\frac{340}{88}=3{,}87 \text{ cm (excentricitate mică).}$$

Presupunînd că înălțimea secțiunii va fi de 20 cm, rezultă

$$e=\frac{h}{2}-e_0-a=10-3{,}87-3{,}3\approx 2{,}8 \text{ cm}$$

$$e'=e_0+\frac{h}{a}-a'=3{,}87+10-3\approx 10{,}9 \text{ cm}$$

$$A_a=\frac{Ne'}{R_a(h_0-a')}=\frac{88\,000\times 10{,}9}{2\,900\,(16{,}7-3)}=$$

$$=24{,}1 \text{ cm}^2 \ (5\varnothing 25;\ A_a=24{,}5 \text{ cm}^2)$$

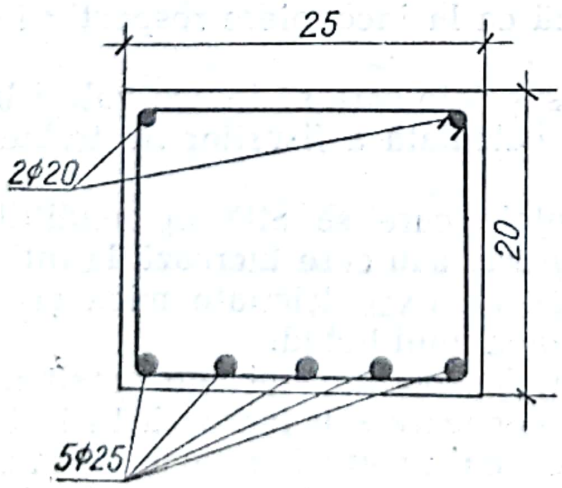


Fig. VIII.3.

$$A'_a=\frac{Ne}{R_a(h_0-a')}=$$

$$=\frac{88\,000\times 2{,}8}{2\,900\,(16{,}7-3)}=$$

$$=6{,}2 \text{ cm}^2 \ (2\varnothing 20;$$

$$A_a=6{,}28 \text{ cm}^2).$$

Rezultă secțiunea din fig. VIII.3.

Exemplul VIII.2. Să se determine deschiderea fisu-

rilor la tirantul de la exemplul VIII.1, coeficientul mediu de supraîncărcare fiind $\overline{n}=1{,}25$, iar raportul dintre încărcarea de lungă durată și încărcarea totală $v=0{,}6$.

$$\beta_f = 1{,}3 \times 1{,}3 \left(0{,}35 + 30 \frac{u}{4bh}\right) =$$

$$= 1{,}3 \times 1{,}3 \left(0{,}35 + 30 \frac{5 \times 7{,}85 + 2 \times 6{,}28}{4 \times 20 \times 25}\right) = 1{,}9,$$

unde s-a dat un spor de 30% pentru întindere excentrică cu excentricitate mică și un spor de 30% pentru acoperirea de beton mai mică decît 1,5 d.

$$A_{bt} = 20 \times 25 = 500 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{R_a}{n} = \frac{2\,900}{1{,}25} = 2\,320 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\overline{\beta} = 0{,}3(1 - 0{,}5 \times 0{,}6) = 0{,}21.$$

Dacă tirantul se execută cu beton B 200

$$\psi = 1 - \overline{\beta} \frac{A_{bt} R_t^n}{A_a \sigma_a} = 1 - 0{,}21 \frac{500 \times 16}{(24{,}5 + 6{,}28)\, 2\,320} = 0{,}98$$

$$\alpha_f = \beta_f \frac{A_{bt}}{u} \psi \frac{\sigma_a}{E_a} = 1{,}9 \frac{500}{5 \times 7{,}85 + 2 \times 6{,}28} 0{,}98 \frac{2\,320}{2\,100\,000} =$$

$$= 0{,}0199 \text{ cm} = 0{,}199 \text{ mm}.$$

Exemplul VIII.3. Să se determine alungirea în stadiul de exploatare a tirantului de la exemplele VIII.1 și VIII.2, cunoscînd că lungimea sa este de 20,50 m.

$$K = \frac{E_a}{\psi} A_a = \frac{2\,100\,000}{0{,}98} (24{,}5 + 6{,}28) = 66\,000\,000 \text{ kgf}$$

$$\Delta_l = \frac{\frac{N}{n} l}{K} = \frac{\frac{88\,000}{1{,}25} 2\,050}{66\,000\,000} = 2{,}19 \text{ cm}.$$

Exemplul VIII.4. Un element de beton armat solicitat la întindere excentrică are secțiunea dreptunghiulară 20×50 cm. Solicitări de calcul $N=14$ tf și $M=12$ tfm. Elementul este exe-

Scanned with OKEN Scanner

cutat din beton B 200 și oțel TOR 47. Să se stabilească armarea necesară (fig. VIII.4).

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{1\,200}{14} = 85{,}6 \text{ cm (excentricitate mare).}$$

$$e = e_0 - \frac{h}{2} + a = 85{,}6 - \frac{50}{2} + 3 = 63{,}6 \text{ cm}$$

$$B = \frac{Ne}{bh_0^2} = \frac{14\,000 \times 63{,}6}{20 \times 47^2} = 20{,}2 < B_{max} \text{ (tabela VI.4).}$$

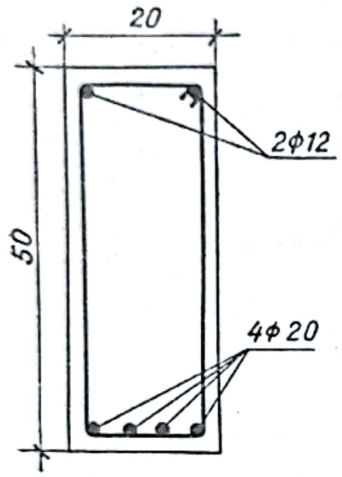


Fig. VIII.4.

Din calcul nu rezultă necesitatea unei armături comprimate; se dispun totuși constructiv $2 \varnothing 12$ ($A'_a = 1{,}57$ cm^2).

$$M_2 = Ne - A'_a R_a (h_0 - a') =$$

$$= 14\,000 \times 63{,}6 - 1{,}57 \times 2\,800 (47 - 2{,}5) =$$

$$= 694\,000 \text{ kgfcm.}$$

$$B = \frac{694\,000}{20 \times 47^2} = 15{,}7.$$

Rezultă $\mu = 0{,}6135\%$; $\zeta = 0{,}914$ (tabela VI.4)

$$x = 2(1 - \zeta) h_0 = 2(1 - 0{,}914) 47 =$$

$$= 8{,}1 \text{ cm} > 2a'$$

$$A_a = \mu b h_0 + A + \frac{N}{R_a} = \frac{0{,}6135}{100} \times 20 \times 47 + 1{,}57 + \frac{14\,000}{2\,800} = 12{,}33 \text{ cm}^2$$

Se aleg $4 \varnothing 20$ ($A_a = 12{,}56$ cm^2).

Exemplul VIII.5. Să se determine deschiderea fisurilor la elementul din exemplul de calcul VIII.4, cunoscînd coeficientul mediu de supraîncărcare $\bar{n} = 1{,}28$ și $\nu = 0{,}4$.

$$\beta_f = 1{,}3 \left(0{,}4 + 30 \frac{\mu}{d}\right) = 1{,}3 \left(0{,}4 + 30 \frac{12{,}56}{20 \times 47 \times 2}\right) = 0{,}78$$

unde s-a considerat un spor de 30% pentru acoperirea de beton sub 1,5 *d*.

Pentru a stabili valoarea lui A_{bt}, se determină poziția axei neutre în momentul apariției fisurilor. Folosind ipotezele din fig. VIII.5 se deduce

$$bx \frac{\sigma_b}{2} \left(e_0 + \frac{h}{2} - \frac{x}{3}\right) = b(h - x) R_t \left(e_0 - \frac{h}{2} + \frac{h - x}{2}\right)$$

Scanned with OKEN Scanner

(momentul față de forța excentrică N)

$$\frac{\sigma_b}{2R_t} = \frac{h-x}{x} \cdot \frac{3(2e_0 - x)}{6e_0 + 3h - 2x}.$$

Din ipoteza secțiunilor plane, rezultă

$$\frac{\sigma_b}{2R_t} = \frac{x}{h-x}.$$

Prin înlocuire se obține

$$\frac{x^2}{(h-2)^2} = \frac{3(2e_0 - x)}{6e_0 + 3h - 2x}.$$

Dezvoltînd rezultă

$$x^3 - 3hx^2 + 3hx(h + 4e_0) - $$
$$- 6h^2 e_0 = 0.$$

Pentru cazul considerat

$$x^3 - 150\,x^2 + 150 \times 392{,}6\,x -$$
$$- 6 \times 50^2 \times 85{,}6 = 0$$

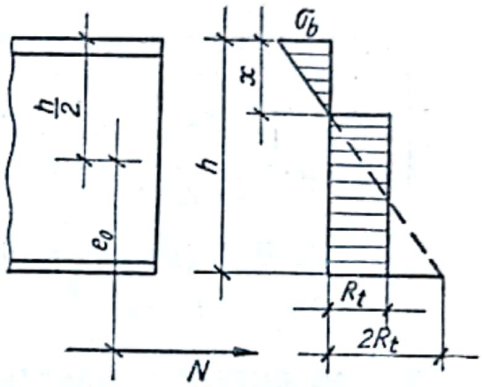


Fig. VIII.5.

$$x^3 - 150\,x^2 + 58\,890\,x - 1\,284\,000 = 0,$$

$$x = 23 \text{ cm}$$

$$A_{bt} = b(h - x) = 20(50 - 23) = 540 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{R_a}{\bar{n}} = \frac{2\,800}{1{,}28} = 2\,190 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\bar{\beta} = 0{,}3(1 - 0{,}5 \times 0{,}4) = 0{,}24$$

$$\psi = 1 - \bar{\beta}\frac{A_{bt}R_t^2}{A_a\sigma_a} = 1 - 0{,}24\,\frac{540 \times 16}{12{,}56 \times 2\,190} = 0{,}92$$

$$\alpha_f = \beta_f \frac{A_{bt}}{u}\psi\frac{\sigma_a}{E_a} = 0{,}78\,\frac{540}{4 \times 6{,}28}\,0{,}92\,\frac{2\,190}{2\,100\,000} =$$

$$= 0{,}016 \text{ cm} = 0{,}16 \text{ mm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

IX

ELEMENTE DE BETON ARMAT SOLICITATE LA TORSIUNE

1. Relaţii de calcul şi indicaţii constructive

În mod curent elementele de beton armat solicitate la torsiune sînt acţionate şi de momente încovoietoare şi forţe tăietoare. În consecinţă, relaţiile de calcul se referă la cazul torsiunii cu încovoiere, urmînd ca eventuale cazuri de elemente solicitate la torsiune pură să fie tratate ca un caz particular în care momentul încovoietor şi forţa tăietoare sînt nule.

Conform normativului P. 8-62, se cere numai verificarea la starea limită de rezistenţă. Relaţiile prevăzute în normativ se bazează pe ipoteze simplificatoare şi în consecinţă utilizarea lor este limitată la cazurile curente, relaţiile nu se aplică la elementele cu pereţi subţiri, recomandîndu-se ca elementele cu secţiune dreptunghiulară avînd raportul dimensiunilor $\frac{h}{b} > 3$ să se calculeze prin metode mai exacte.

Ca soluţie constructivă se recomandă ca lăţimea elementelor să fie egală cu cel puţin jumătate din înălţimea secţiunii $\frac{h}{b} \leqslant 2$.

Alegerea dimensiunilor secţiunii se face respectîndu-se condiţia

$$\frac{Q}{bh_0} + \frac{M_t}{W_t} \leqslant 4\,R_t \qquad \text{(IX.1)}$$

în care: Q este forţa tăietoare;

M_t — momentul de torsiune de calcul;

Scanned with OKEN Scanner

W_t este modulul de rezistență la torsiune, calculat ca pentru o secțiune ideal plastică.

Pentru o secțiune dreptunghiulară

$$W_t = \frac{1}{6} b^2 h \left(3 - \frac{b}{h}\right). \qquad \text{(IX.2)}$$

La elementele sau porțiunile de elemente la care este respectată condiția

$$\frac{Q}{bh_0} + \frac{M_t}{W_t} \leqslant R_t \qquad \text{(IX.3)}$$

se prevăd pentru preluarea torsiunii numai armături constructive.

La elementele sau porțiunile de elemente la care nu este respectată condiția (IX.3) calculul secțiunilor de armătură necesară se face după cum se arată în continuare.

— Pentru preluarea solicitărilor datorită încovoierii se efectuează calculul în secțiuni normale și în secțiuni înclinate (v. cap. VI).

— Pentru preluarea solicitărilor datorită torsiunii se prevăd armături suplimentare în formă de elice înclinată la 45° sau sub formă de bare longitudinale și etrieri; aria secțiunii acestor armături suplimentare se calculează cu relațiile (IX.4)—(IX.7).

Pentru armături suplimentare în formă de elice înclinată la 45° (fig. IX.1, *a*) calculul secțiunii de armătură necesară se poate face cu ajutorul relației

$$M_t \leqslant 2\sqrt{2} A_s R_a \frac{b_s h_s}{s} \qquad \text{(IX.4)}$$

în care: A_s este aria secțiunii barei în formă de elice;
b_s și h_s sînt dimensiunile secțiunii sîmburelui de beton;
s este pasul elicei, măsurat în lungul elementului.

Pentru armături suplimentare din bare longitudinale și etrieri (fig. IX.1, *b*) calculul se poate face cu ajutorul relațiilor

$$M_t \leqslant 2 A_e R_a \frac{b_s h_s}{s_e}; \qquad \text{(IX.5)}$$

$$M_t \leqslant 2 A_{al} R_a \frac{b_s h_s}{s_l}; \qquad \text{(IX.6)}$$

în care: A_e este aria secțiunii unei ramuri a etrierului suplimentar;
A_{al} — aria secțiunii unei bare longitudinale suplimentare;

Scanned with OKEN Scanner

s_e, s_l este distanța dintre etrierii suplimentari, respectiv dintre barele longitudinale suplimentare.

Aria totală a secțiunii armăturii longitudinale suplimentare, A_{tl} se poate determina cu ajutorul relației

$$A_{tl} \geq \frac{M_t (b_s + h_s)}{b_s h_s R_a}. \qquad \text{(IX.7)}$$

Armăturile longitudinale suplimentare trebuie dispuse cît mai uniform pe perimetrul secțiunii sîmburelui de beton; de

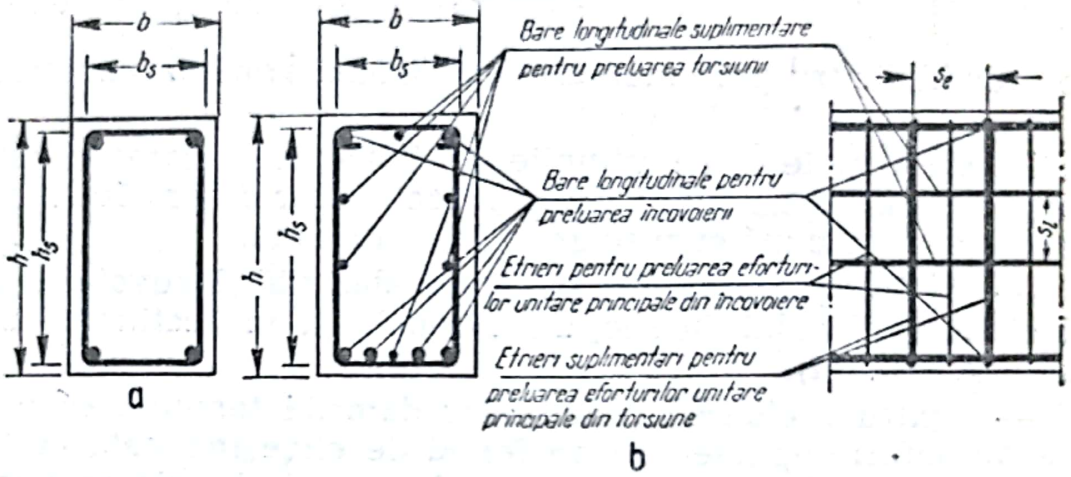


Fig. IX.1.

asemenea se recomandă ca distanța s_l dintre barele longitudinale suplimentare să aibă o valoare cît mai apropiată de cea a distanței s_e dintre etrierii suplimentari respectîndu-se în același timp relațiile (IX.5) și (IX.6).

Etrierii vor fi închiși și vor avea capetele petrecute pe cel puțin 30 d.

Dacă se folosesc carcase sudate, toate barele sudate de pe ambele direcții vor fi sudate de barele longitudinale de colț, formînd un contur închis.

Distanțele dintre barele transversale așezate perpendicular pe planul încovoierii trebuie să nu depășească lățimea b a secțiunii, respectînd în același timp relația (IX.5), precum și indicațiile constructive privind distanța dintre barele transversale la elementele solicitate la încovoiere.

2. Exemplu de calcul

Exemplul IX.1. O grindă de beton armat simplu rezemată cu deschiderea de calcul l_0=5,80 m, este solicitată de o încărcare uniform distribuită totală g=2 200 kgf/m (încărcare

de calcul), precum și de un moment de torsiune de calcul $M_t=2{,}2$ tfm.

Să se aleagă dimensiunile secțiunii de beton și să se determine armarea necesară cunoscînd că grinda se execută cu secțiunea dreptunghiulară din beton B 200 și oțel OL 38.

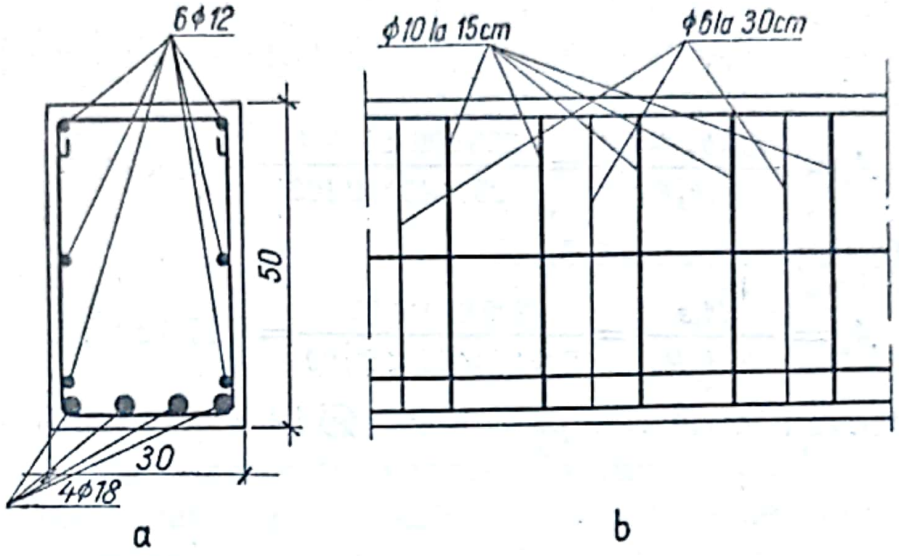


Fig. IX.2.

Se alege $b=30$ cm, $h=50$ cm, respectiv $h_0=46{,}5$ cm (fig. IX.2, *a*)

$$M=\frac{gl_0^2}{8}=\frac{2\,200\times 5{,}80^2}{8}=9\,230 \text{ kgfm}$$

$$Q=\frac{gl_0}{2}=\frac{2\,200\times 5{,}80}{2}=6\,380 \text{ kgf}$$

$$\frac{Q}{bh_0}=\frac{6\,380}{30\times 46{,}5}=4{,}58 \text{ kgf/cm}^2$$

$$W_t=\frac{1}{6}b^2h\left(3-\frac{b}{h}\right)=\frac{1}{6}30^2\times 50\left(3-\frac{30}{50}\right)=18\,000 \text{ cm}^3$$

$$\frac{M_t}{W_t}=\frac{22\,000}{18\,000}=12{,}2 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\frac{Q}{bh_0}+\frac{M_t}{W_t}=4{,}58+12{,}2=16{,}79 \text{ kgf/cm}^2<4\,R_t.$$

Secțiunea de beton este bine aleasă.

Armătura necesară pentru preluarea încovoierii

$$B=\frac{M}{bh_0^2}=\frac{923\,000}{30\times 46{,}5}=14{,}21;\ \mu=0{,}733\,\%\ \text{(tabela VI.3)}$$

$$A_a=\mu bh_0=\frac{0{,}733}{100}\times 30\times 46{,}5=10{,}22 \text{ cm}^2;$$

Se aleg 4 ∅18 ($A_a=10{,}16$ cm^2).

Scanned with OKEN Scanner

Preluarea forței tăietoare

$$\frac{Q}{bh_0} < R_t.$$

Deci armătura transversală se dispune constructiv și se prevăd etrieri ∅ 6 la 30 cm (fig. IX.2, *b*).

Armătura suplimentară (sub formă de bare longitudinale și etrieri) pentru preluarea torsiunii

$$A_{tl} = \frac{M_t(b_s + h_s)}{b_s h_s R_a} = \frac{220\,000\,(25 + 45)}{25 \times 45 \times 2\,100} = 6{,}52 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 6 ∅ 12, $A_{tl} = 6{,}78$ cm².

$$A_e = \frac{M_t s}{2 b_s h_s R_a} = \frac{220\,000 \times 15}{2 \times 25 \times 45 \times 2\,100} = 0{,}776 \text{ cm}^2.$$

Se prevăd etrieri suplimentari ∅ 10 la 15 cm (v. fig. IX.2, *b*).

Scanned with OKEN Scanner

X

ELEMENTE DE BETON ARMAT SOLICITATE LA ÎNCĂRCĂRI REPETATE

Grinzile căilor de rulare, traversele de cale ferată și alte elemente de construcție suportă în timpul exploatării încărcări mobile care produc solicitări repetate de scurtă durată. După îndepărtarea încărcării mobile, elementul rămîne solicitat numai de încărcările permanente pînă la revenirea convoiului mobil.

În cadrul unui ciclu încărcare-descărcare se constată o variație a eforturilor unitare între două limite σ_{min} și σ_{max}. Repetarea acestor cicluri poate să conducă la apariția fenomenului de oboseală avînd ca urmare reducerea capacității de rezistență a elementului. În cazul betonului armat fenomenul de oboseală poate să apară la beton sau la armături.

Ținînd seama că nu se pot repeta de un număr mare de ori decît încărcările normate, verificarea la oboseală se efectuează pentru solicitările produse de acestea. Valorile maxime ale încărcărilor (încărcările de calcul) intervin de foarte puține ori pe durata exploatării unei construcții, astfel încît nu pot să conducă la apariția fenomenului de oboseală. Fac excepție de la această regulă utilajele cu amplasament fix pentru care trebuie considerată încărcarea de calcul.

Verificarea elementelor supuse la încărcări repetate se efectuează punînd condiția ca eforturile unitare determinate în stadiul II să nu depășească rezistențele de calcul la oboseală.

Scanned with OKEN Scanner

În practica curentă se dimensionează secțiunea la starea limită de rezistență pe baza încărcărilor de calcul și apoi se verifică la starea limită de oboseală.

1. Caracteristici de calcul

Amplitudinea ciclului încărcare-descărcare se evaluează cu ajutorul raportului

$$\rho = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\sigma_{max}}. \qquad (X.1)$$

Întrucît verificarea la starea limită de oboseală se efectuează sub acțiunea încărcărilor normate, deci în stadiul de exploatare, se admite că elementele se comportă elastic astfel încît în aplicațiile curente pentru determinarea lui ρ se pot introduce solicitările maxime și minime în locul eforturilor unitare corespunzătoare.

Rezistența de calcul la oboseală a betonului se stabilește cu ajutorul relației

$$\overline{R}_b^o = k_b^o R_b^o \qquad (X.2)$$

în care R_b^o se determină din tabela X.1, în funcție de marca betonului; iar k_b^o se determină din tabela X.2 în funcție de valoarea ρ.

Tabela X.1

Rezistențele de calcul la oboseală ale betonului, R_b^o, pentru $\rho \leqslant 0{,}9$, în kgf/cm²

Felul solicitării	Notația	Marca betonului						
		B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500	B 600
Compresiune axială (rezistență prismatică)	R_{pr}^o	40	55	70	85	115	140	165
Compresiune din încovoiere	R_i^o	50	70	90	110	145	175	205
Întindere din eforturi unitare principale pentru construcții de beton precomprimat	R_{tp}^o	—	—	11,5	14	17	19	20

Observație. Valoarea rezistenței de calcul a betonului la întindere din oboseală, se consideră $R_t^o = 0$, indiferent de marca betonului.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela X.2

Coeficienți de multiplicare k_b^o

ϱ	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
k_b^o	1	1,05	1,10	1,15	1,20

Observație. Pentru valori intermediare ale lui ρ, se interpolează liniar.

Tabela X.3

Rezistențele de calcul la oboseală ale armăturilor nepretensionate, R_a^o, pentru $0{,}9 \leqslant \rho \leqslant 1{,}1$, în kgf/cm²

Felul armăturii	R_a^o kgf/cm²
Oțel beton rotund OL 38	1 700
Oțel cu profil periodic laminat la cald PC 52	1 800
Oțel cu profil periodic laminat la cald PC 60	1 950

Tabela X.4

Coeficienți de multiplicare k_a^o

ϱ	2	1,5	1,2	1,1 — 0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
k_a^o	0,6	0,75	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6

Observație. Pentru valori intermediare ale lui ρ se interpolează liniar.

Tabela X.5

Coeficienți de multiplicare k_s

Nr. crt.	Felul sudurii	Calitatea oțelului	
		OL 38	PC 52-PC 60
1	Sudură cap la cap — cu polizare locală	1	1
	— fără polizare locală	0,90	0,80
2	Înnădire cu eclise	0,90	0,80
3	Înnădire prin suprapunere	0,80	0,65
4	Sudură prin puncte (carcase sau plase sudate)	0,85	0,70

Scanned with OKEN Scanner

Rezistența de calcul la oboseală a armăturii se stabilește cu ajutorul relației

$$\overline{R}_a^o = k_s k_a^o R_a^o \leqslant R_a \qquad \text{(X.3)}$$

în care R_a^o se determină din tabela X.3 în funcție de calitatea oțelului, k_a^o din tabela X.4 în funcție de amplitudinea ρ și k_s din tabela X.5 în funcție de felul sudurii utilizate; pentru armături nesudate se va introduce $k_s = 1$.

Întrucît calculul se efectuează în stadiul II de lucru al elementelor, în relații intervine coeficientul de echivalență $n^o = E_a/E_b^o$, unde E_b^o este modulul de elasticitate al betonului la oboseală. Valorile coeficientului n^o sînt date în tabela X.6.

Tabela X.6

Coeficienți de echivalență n^o

Marca betonului	B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500	B 600
n^o	30	25	23	20	15	13	11

2. Verificarea secțiunilor la întindere și compresiune centrică

a. *Relații de calcul*

Verificarea la oboseală a elementelor întinse centric supuse la încărcări repetate se face cu ajutorul relației

$$\sigma_a = \frac{N^n}{A_a} \leqslant \overline{R}_a^o. \qquad \text{(X.4)}$$

Verificarea la oboseală a elementelor comprimate centric supuse la încărcări repetate se face cu ajutorul relațiilor

$$\sigma_b = \frac{N^n}{A_b + n^o A_a} = \frac{N^n}{A_b (1 + n^o \mu)} \leqslant \overline{R}_{pr}^o ; \qquad \text{(X.5)}$$

$$\sigma_a = n^o \sigma_b \leqslant \overline{R}_a^o. \qquad \text{(X.6)}$$

Dacă una dintre aceste condiții nu se îndeplinește, este necesară modificarea secțiunii de beton sau de armătură.

Ca și în cazul elementelor comprimate centric supuse la încărcări nerepetate (v. cap. IV) este necesar să se țină seama

Scanned with OKEN Scanner

de coeficientul condițiilor de lucru al betonului precum și de coeficientul de flambaj corespunzător încărcării de lungă durată.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul X.1. Să se verifice la oboseală o diagonală întinsă a unei grinzi cu zăbrele armată cu 6 ∅ 25 OL 38, cunoscînd că armăturile sînt înnădite cu eclise sudate iar încărcările normate sînt

— încărcări permanente $N_g^n = 7{,}5$ tf;

— încărcări temporare (mobile) $N_p^n = 37{,}5$ tf.

$$N^n = N_g^n + N_p^n = 7{,}5 + 37{,}5 = 45 \text{ tf}$$

$$\rho = \frac{N_{max} - N_{min}}{N_{max}} = \frac{N^n - N_g^n}{N^n} = \frac{45 - 7{,}5}{45} = 0{,}835$$

$$\overline{R}_a^o = k_s k_a^o R_a^o = 0{,}9 \times 1{,}067 \times 1\,700 = 1\,635 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_a = \frac{N^n}{A_a} = \frac{45\,000}{29{,}5} = 1\,525 \text{ kgf/cm}^2 < \overline{R}_a^o,$$

deci elementul este armat corespunzător.

Se consideră același element, supus la următoarele încărcări normate:

— încărcări permanente $N_g^n = 5{,}8$ tf;

— încărcări temporare (mobile) $N_p^n = 46{,}2$ tf.

$$N^n = N_g^n + N_p^n = 5{,}8 + 46{,}2 = 52 \text{ tf.}$$

$$\rho = \frac{N_{max} - N_{min}}{N_{max}} = \frac{52 - 5{,}8}{52} = 0{,}89$$

$$\overline{R}_a^o = k_s k_a^o R_a^o = 0{,}9 \times 1 \times 1\,700 = 1\,530 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\sigma_a = \frac{N^n}{A_a} = \frac{52\,000}{29{,}5} = 1\,765 \text{ kgf/cm}^2 > \overline{R}_a^o.$$

Este necesar să se sporească secțiunea armăturii și deci

$$A_a = \frac{N^n}{\overline{R}_a^o} = \frac{52\,000}{1\,530} = 34 \text{ cm}^2.$$

Se aleg 6 ∅ 22 + 2 ∅ 28.

Scanned with OKEN Scanner

Exemplul X.2. Să se verifice la oboseală un stîlp de beton armat cu secțiunea transversală 30×40 cm armat cu 6 ∅ 16 OL 38 și executat monolit din beton de marcă B 200, cunoscînd:

— încărcarea permanentă $N_g^n = 45$ tf;

— încărcarea temporară $N_p^n = 55$ tf;

— nu intervine flambajul.

$$N^n = N_g^n + N_p^n = 45 + 55 = 100 \text{ tf}$$

$$\rho = \frac{N^n - N_g^n}{N^n} = \frac{N_p^n}{N^n} = \frac{55}{100} = 0{,}55$$

$$\overline{R}_{pr}^o = m_b k_b^o R_{pr}^o = 0{,}85 \times 1{,}175 \times 55 = 55 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\overline{R}_a^o = k_s k_a^o R_a^o = 1 \times 1{,}35 \times 1\,700 = 2\,300 \text{ kgf/cm}^2 > R_a.$$

Se consideră $\overline{R}_a^o = R_a = 2\,100$ kgf/cm².

$$\sigma_b = \frac{N^n}{A_b + n^o A_a} = \frac{1\,000\,000}{30 \times 40 + 25 \times 12{,}06} = 66{,}5 \text{ kgf/cm}^2 > \overline{R}_{pr}^o$$

$$\sigma_a = n^o \sigma_b = 25 \times 66{,}5 = 1\,665 \text{ kgf/cm}^2 < \overline{R}_a^o.$$

Este necesară mărirea secțiunii transversale a stîlpului

$$A_{b\,nec} = \frac{N^n - n^o \overline{R}_{pr}^o A_a}{\overline{R}_{pr}^o} = \frac{100\,000 - 25 \times 55 \times 12{,}06}{55} = 1\,520 \text{ cm}^2.$$

Se adoptă secțiunea 40×40 = 1 600 cm².

3. Verificarea la oboseală a secțiunilor încovoiate

a. *Relații de calcul*

Verificarea la oboseală a elementelor supuse la încovoiere repetată se efectuează sub acțiunea momentelor încovoietoare în secțiuni normale pe axa elementului precum și sub acțiunea forțelor tăietoare.

Scanned with OKEN Scanner

1) Verificarea în secțiuni normale pe axa elementului

Secțiuni dreptunghiulare. Eforturile unitare normale se determină, ținînd seama că elementul lucrează în stadiul II, cu ajutorul relațiilor

$$\sigma_a = \frac{M^n}{A_a \zeta_2 h_0}; \tag{X.7}$$

$$\sigma_b = \frac{\xi_2}{n^o (1 - \xi_2)} \sigma_a. \tag{X.8}$$

Eforturile unitare astfel calculate nu trebuie să depășească rezistențele de calcul la oboseală corespunzătoare.

Poziția relativă a axei neutre ξ_2 pentru secțiuni simplu armate se determină cu ajutorul relației

$$\xi_2 = \mu n^o \left[\sqrt{1 + \frac{2}{\mu n^o}} - 1 \right]. \tag{X.9}$$

Valoarea $\zeta_2 = \frac{z_2}{h_0}$ pentru secțiuni simplu armate se determină cu ajutorul relației

$$\zeta_2 = 1 - \frac{\xi_2}{3}. \tag{X.10}$$

Pentru simplificarea calculelor de verificare la starea limită de oboseală se poate proceda după cum se arată în continuare.

Se determină valoarea

$$r_a = \frac{1}{\overline{n}} \frac{R_a}{\overline{R}_a^o}, \tag{X.11}$$

unde $\overline{n}$ este coeficientul mediu de supraîncărcare. Cu ajutorul diagramelor din fig. X.1, în funcție de calitatea oțelului folosit, se găsește valoarea ξ_{min}.

Se determină apoi

$$r_b = \frac{1}{\overline{n}} \frac{R_i}{\overline{R}_i^o} \tag{X.12}$$

iar pe baza diagramelor din fig. X.1 se găsește valoarea ξ_{max}.

Dacă s-a obținut $\xi_{min} < \xi_{max}$ se dimensionează secțiunea la starea limită de rezistență, pentru momentul încovoietor de

Scanned with OKEN Scanner

calcul nM^n adoptînd pentru $\xi = \mu \frac{R_a}{R_i}$ o valoare cuprinsă între cele două limite ξ_{min} și ξ_{max}. (X.13)

Dacă s-a obținut $\xi_{min} > \xi_{max}$, dimensionarea secțiunii este hotărîtă de starea limită de oboseală. În acest caz se alege o

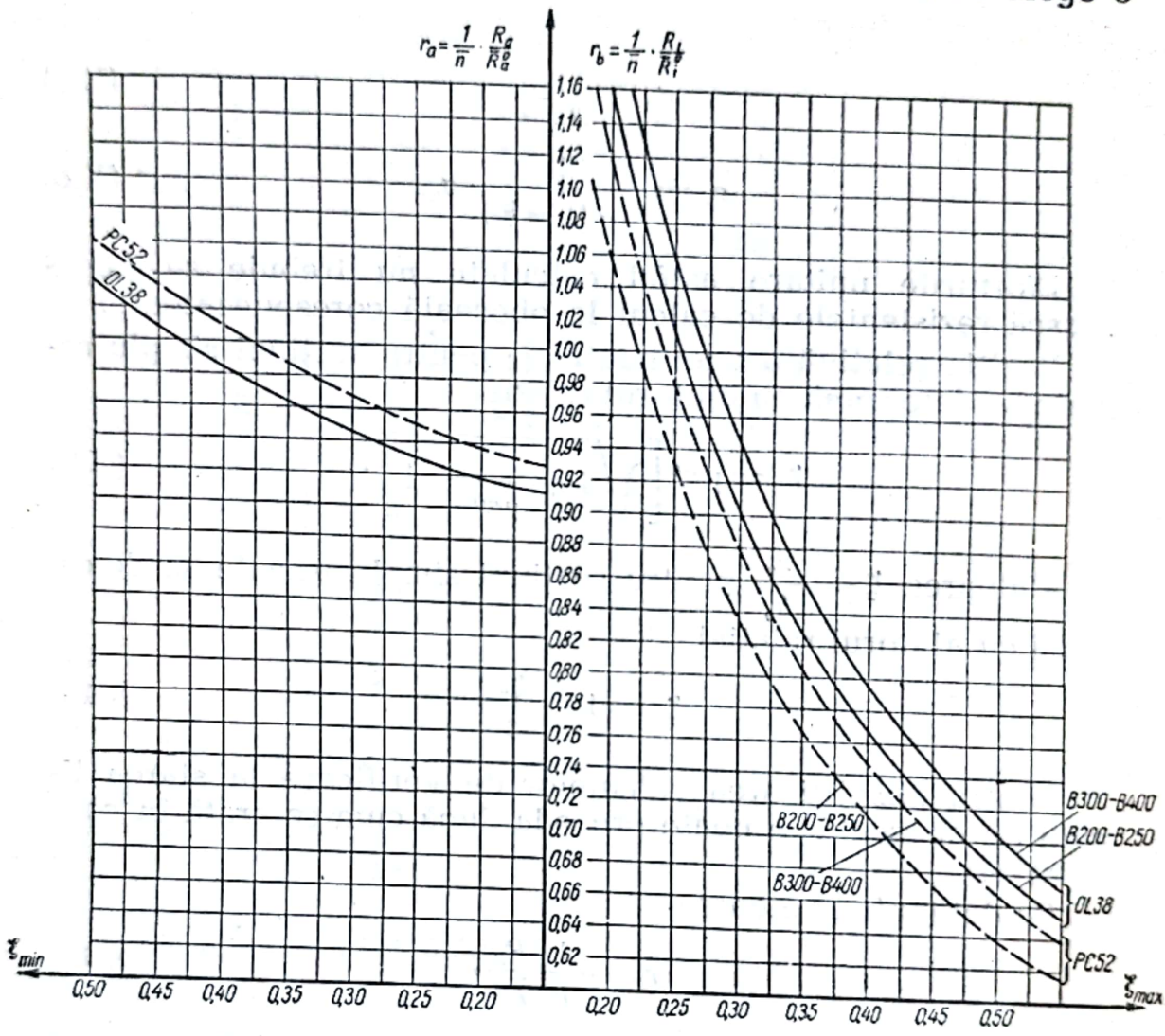


Fig. X.1.

valoare arbitrară $\overline{n'}$, pentru coeficientul mediu de supraîncărcare, cît mai apropiată de $\overline{n}$, astfel încît să rezulte $\xi'_{min} < \xi'_{max}$. Dimensionarea secțiunii se face pentru momentul încovoietor de calcul $n'M^n$ și respectînd condiția

$$\xi'_{min} < \xi < \xi'_{max}. \qquad (X.14)$$

Dacă se respectă condițiile (X.13) sau (X.14) nu mai este necesară verificarea secțiunii la starea limită de oboseală.

Scanned with OKEN Scanner

Secțiuni T, I sau casetate. Pentru secțiuni T cu placa în zona comprimată, secțiuni I sau casetate, având axa neutră situată în placa comprimată, (în stadiul II), verificarea la starea limită de oboseală se face ca și în cazul secțiunilor dreptunghiulare considerînd $b=b_p$.

Dacă axa neutră este situată în inimă, verificarea se face după cum se arată în continuare.

Se determină poziția relativă a axei neutre în stadiul II cu ajutorul relației

$$\xi_2 = -\beta + \sqrt{\beta^2 + 2\mu n^o + \bar{A}\,\bar{h}_p} \qquad (X.15)$$

unde

$$\mu = \frac{A_a}{bh_0}; \quad \bar{A} = \frac{b_p - b}{b}\,\frac{h_p}{h_0}; \quad \bar{h}_p = \frac{h_p}{h_0}; \quad \beta = \bar{A} + \mu n^o.$$

Raportul $\zeta_2 = \frac{z}{h_0}$ se determină cu ajutorul relației

$$\zeta_2 = 1 - \frac{\xi_2}{3} + \frac{2}{3}\,\frac{\bar{h}_p}{\frac{\bar{b}_p}{\bar{b}_p - 1}\left(\frac{\xi_2}{\xi_2 - \bar{h}_p}\right)^2 - 1} \qquad (X.16)$$

unde

$$\bar{b}_p = \frac{b_p}{b}.$$

Eforturile unitare maxime se stabilesc cu ajutorul relațiilor (X.7) și (X.8) și nu trebuie să depășească rezistențele de calcul la oboseală determinate cu relațiile (X.2) și (X.3). Pentru determinarea coeficienților ξ_2 și ζ_2 se pot folosi graficele date în cap. VI.C.

2) Verificarea în secțiuni înclinate

Eforturile unitare principale de întindere se calculează după cum urmează:

— pentru grinzi cu înălțime constantă, calculul se face cu ajutorul relației

$$\sigma_1 = \frac{Q}{bz}; \qquad (X.17)$$

— pentru grinzi cu înălțime variabilă, la care momentul încovoietor crește în valoare absolută în același sens cu creșterea înălțimii secțiunii, calculul se face cu ajutorul relației

$$\sigma_1 = \frac{Q}{bz} \mp \frac{M \operatorname{tg} \alpha}{bzh_0}. \qquad (X.18)$$

Scanned with OKEN Scanner

În relațiile (X.17) și (X.18):

Q și M sînt forța tăietoare, respectiv momentul încovoietor, din secțiunea considerată sub acțiunea încărcărilor normate;

α este unghiul de înclinare al laturii grinzii față de planul normal la direcția forței tăietoare.

Alegerea dimensiunilor secțiunii și a mărcii betonului se face astfel încît valoarea maximă a efortului unitar principal de întindere σ_1 să nu fie mai mare decît 2,5 R_t.

La elementele la care $\sigma_1 \leqslant 0{,}9\ R_t$ armăturile înclinate și etrierii se prevăd constructiv, iar pe porțiunea pe care $\sigma_1 < 0{,}45\ R_t$ eforturile principale de întindere pot fi acoperite numai de beton, deci nu sînt necesari etrieri sau armături înclinate.

Efortul unitar principal de întindere preluat de etrieri σ_{etr} se determină cu ajutorul relației

$$\sigma_{e,t} = \frac{A_{e,t}\overline{R}_a^o}{ab} \qquad (X.19)$$

în care: $A_{e,t}$ este aria secțiunii transversale a tuturor ramurilor unui etrier;

a — distanța dintre etrieri;

b — lățimea grinzii în dreptul axei.

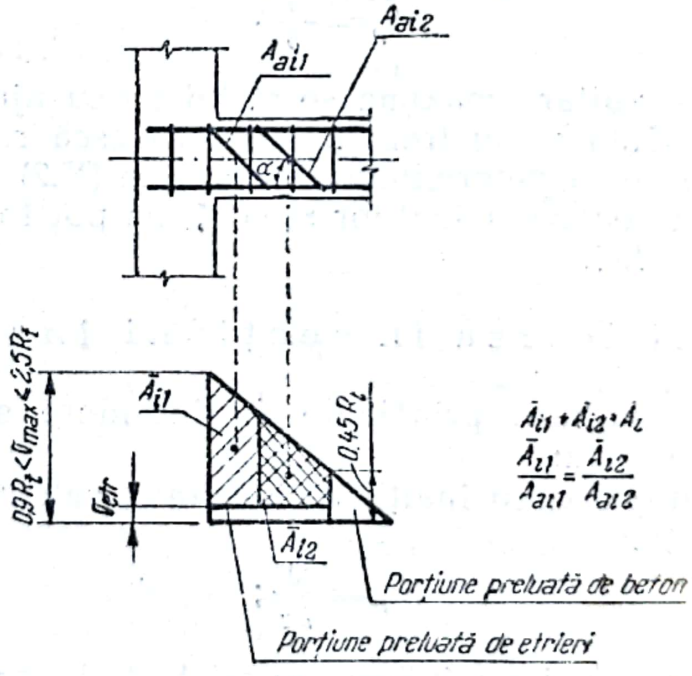


Fig. X.2.

Porțiunea rămasă din diagrama eforturilor unitare principale de întindere, după deducerea eforturilor unitare preluate de beton și etrieri, notată cu $\overline{A}_i$ trebuie să fie preluată prin armături înclinate (fig. X.2).

Scanned with OKEN Scanner

Aria secțiunii acestor bare A_{ai} se determină (pentru $\alpha \geqslant 45^\circ$) cu relația

$$A_{ai} = \frac{\bar{A}_i b \sin \alpha}{\bar{R}_a^o} \qquad \text{(X.20)}$$

Armăturile înclinate se repartizează în lungul grinzii astfel încît să fie egal încărcate.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul X.3. Să se calculeze elementele secțiunii dreptunghiulare a unei grinzi de beton armat supusă la încărcări repetate, cunoscînd următoarele solicitări:

— din încărcări permanente $M_g^n = 5$ tfm;
— din încărcări temporare $M_{p1}^n = 14$ tfm;
$M_{p2}^n = 6$ tfm.

Coeficienții de supraîncărcare sînt:

$$n_g = 1{,}1;$$
$$n_{p1} = 1{,}2;$$
$$n_{p2} = 1{,}4.$$

Se va folosi B 300 și OL 38.

$$M_p^n = M_{p1}^n + M_{p2}^n = 14 + 6 = 20 \text{ tfm.}$$

$$M^n = M_g^n + M_p^n = 5 + 20 = 25 \text{ tfm.}$$

$$M = \Sigma n_i M_i^n = 1{,}1 \times 5 + 1{,}2 \times 14 + 1{,}4 \times 6 = 30{,}7 \text{ tfm}$$

$$\bar{n} = \frac{M}{M^n} = \frac{30{,}7}{25} = 1{,}23$$

$$\rho = \frac{M^n - M_g^n}{M^n} = \frac{M_p^n}{M^n} = \frac{20}{25} = 0{,}8$$

$$\bar{R}_a^o = k_s k_a^o R_a^o = 1 \times 1{,}1 \times 1\,700 = 1\,870 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\bar{R}_i^o = k_b^o R_i^o = 1{,}05 \times 110 = 115{,}5 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$r_a = \frac{1}{\bar{n}} \frac{R_a}{\bar{R}_a^o} = \frac{1}{1{,}23} \frac{2\,100}{1\,870} = 0{,}915.$$

Scanned with OKEN Scanner

Din fig. X.1 rezultă $\xi_{min}=0{,}165$.

$$r_b=\frac{1}{\bar{n}}\frac{R_i}{\bar{R}_i^o}=\frac{1}{1{,}23}\frac{160}{115{,}5}=1{,}12$$

și din aceeași figură $\xi_{max}=0{,}225$.

Se va dimensiona secțiunea pentru $M=30{,}7$ tfm alegînd $\xi=0{,}18\ldots0{,}20$.

Exemplul X.4. Să se dimensioneze secțiunea dreptunghiulară a unei grinzi supuse încărcării repetate cunoscînd următoarele solicitări:

— din încărcări permanente $M_g^n=3$ tfm;

— din încărcări temporare $M_p^n=4{,}5$ tfm.

Coeficienții de supraîncărcare sînt $n_g=1{,}1$ și $n_p=1{,}3$.

Se va folosi B 250 și PC 52, fără suduri.

$$M^n=M_g^n+M_p^n=3+4{,}5=7{,}5 \text{ tfm}$$

$$M=n_gM_g^n+n_pM_p^n=1{,}1\times3+1{,}3\times4{,}5=9{,}15 \text{ tfm.}$$

$$\bar{n}=\frac{M}{M^n}=\frac{9{,}15}{7{,}5}=1{,}22$$

$$\bar{R}_a^o=k_sk_a^oR_a^o=1\times1{,}3\times1\,900=2\,470 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\bar{R}_i^o=k_b^oR_i^o=1{,}15\times90=103 \text{ kgf/cm}^2$$

$$r_a=\frac{1}{\bar{n}}\frac{R_a}{\bar{R}_a^o}=\frac{1}{1{,}22}\frac{2\,900}{2\,470}=0{,}962.$$

Din fig. X.1 rezultă $\xi_{min}=0{,}275$.

$$r_b=\frac{1}{\bar{n}}\frac{R_i}{\bar{R}_i^o}=\frac{1}{1{,}22}\frac{120}{103}=0{,}955$$

și din aceeași figură $\xi_{max}=0{,}24$.

Deoarece $\xi_{min}>\xi_{max}$ se alege $\bar{n}'=1{,}24$ obținîndu-se

$$r_a'=\frac{1}{1{,}24}\frac{2\,900}{2\,470}=0{,}945,\quad \xi_{min}'=0{,}225;$$

$$r_b'=\frac{1}{1{,}24}\frac{120}{103}=0{,}940,\quad \xi_{max}'=0{,}245.$$

Se va dimensiona secțiunea la starea limită de rezistență considerînd un moment încovoietor de calcul sporit

$$M'=\bar{n}M^n=1{,}24\times7{,}5=9{,}30 \text{ tfm}$$

Scanned with OKEN Scanner

și adoptînd un procent de armare corespunzător valorii $\xi=0{,}235$, și anume

$$\mu=\xi\frac{R_i}{R_a}=0{,}235\frac{120}{2\,900}=0{,}97\ \%.$$

Exemplul X.5. Să se verifice la starea limită de oboseală o secțiune avînd următoarele dimensiuni $h_0=55$ cm, $b=20$ cm, $b_p=60$ cm, $h_p=10$ cm. Armarea este realizată din bare OL 38 cu secțiunea $A_a=12$ cm^2. Betonul folosit este de marcă B 250. Solicitările de calcul la oboseală sînt $M_{max}=10{,}4$ tfm și $M_{min}=3{,}1$ tfm.

$$\rho=\frac{M_{max}-M_{min}}{M_{max}}=\frac{10.4-3{,}1}{10{,}4}=0{,}7$$

$$\overline{R}_a^o=k_s k_a^o R_a^o=1\times 1{,}20\times 1\,700=2\,040\ \text{kgf/cm}^2$$

$$\overline{R}_i^o=k_b^o R_i^o=1{,}10\times 90=99\ \text{kgf/cm}^2.$$

$$\mu=\frac{12}{20\times 55}=1{,}09\ \%$$

$$\overline{A}=\frac{b_p-b}{v}\frac{h_p}{h_0}=\frac{60-20}{20}\frac{10}{55}=0{,}346$$

$$\overline{h}_p=\frac{h_p}{h_0}=\frac{10}{55}=0{,}182$$

$$\beta=\overline{A}+\mu n^o=0{,}364+0{,}0109\times 23=0{,}614$$

$$\xi_2=-\beta+\sqrt{\beta^2+2\mu n^o+\overline{A}\,\overline{h}_p}=$$

$$=-0{,}614+\sqrt{0{,}614^2+2\times 0{,}0109\times 23+0{,}364\times 0{,}182}=0{,}359$$

$$\overline{b}_p=\frac{b_p}{b}=\frac{60}{20}=3$$

$$\zeta_2=1-\frac{\xi_2}{3}+\frac{2}{3}\,\frac{\overline{h}_p}{\dfrac{\overline{b}_p}{\overline{b}_p-1}\left(\dfrac{\xi_2}{\xi_2-\overline{h}_p}\right)^2-1}=$$

$$=1-\frac{0.359}{3}+\frac{2}{3}\,\frac{0{,}182}{\dfrac{3}{2}\left(\dfrac{0.359}{0{,}359-0{,}182}\right)^2-1}=0{,}907$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\sigma_a = \frac{M^{max}}{A_a \zeta_2 h_0} = \frac{1\,040\,000}{12 \times 0{,}907 \times 55} = 1\,740 \text{ kgf/cm}^2 < 2\,040 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{\xi_2}{n^o(1-\xi_2)}\sigma_a = \frac{0{,}359}{23(1-0{,}359)}1\,740 = 42{,}5 \text{ kgf/cm}^2 < 99 \text{ kgf/cm}^2.$$

4. Verificarea la oboseală a secțiunilor comprimate excentric

Verificarea la starea limită de oboseală a elementelor solicitate la compresiune excentrică se face determinînd eforturile unitare maxime σ_b în betonul comprimat, σ_a în armătura întinsă și σ'_a în armătura comprimată. Calculul se efectuează pentru acțiunea încărcărilor normate considerînd că elementul lucrează în stadiul II. Valorile obținute nu trebuie să depășească rezistențele de calcul la oboseală $\overline{R}^o_a$ și $\overline{R}^o_i$ respectiv $\overline{R}^o_{pr}$.

Excentricitate mare. În cazul secțiunilor dreptunghiulare mărimea efortului unitar din betonul comprimat se determină cu ajutorul relației

$$\sigma_b = \frac{N^n}{\frac{1}{2}bx + n^o A'_a \frac{x-a'}{x} - n^o A_a \frac{h_0 - x}{x}} \qquad (X.21)$$

iar eforturile unitare din armătură cu ajutorul relațiilor

$$\sigma_a = n^o \sigma_b \frac{h_0 - x}{x}; \qquad (X.22)$$

$$\sigma'_a = \frac{x-a'}{h_0 - x}\sigma_a. \qquad (X.23)$$

Este necesar să se îndeplinească următoarele condiții

$$\sigma_b \leqslant \overline{R}^o_i;$$

$$\sigma_a \leqslant \overline{R}^o_a.$$

Excentricitate mică. Notînd cu e_0 excentricitatea forței față de centrul de greutate al secțiunii situat la distanțele v de la fibra cea mai comprimată și v' de la fibra mai puțin comprimată, eforturile unitare maxime se determină cu ajutorul relațiilor

$$\sigma_b = \frac{N^n}{A_{bi}} + \frac{N^n e_0 v}{I_{bi}}; \qquad (X.24)$$

$$\sigma'_b = \frac{N^n}{A_{bi}} - \frac{N^n e_0 v'}{I_{bi}}; \qquad (X.25)$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\sigma_a = n^o \left[\sigma_b - \frac{a}{h}(\sigma'_b - \sigma_b)\right]; \qquad (X.26)$$

$$\sigma'_a = n^o \left[\sigma_b + \frac{h-a'}{h}(\sigma'_b - \sigma_b)\right]. \qquad (X.27)$$

A_{bi} și I_{bi} sînt aria secțiunii și momentul de inerție ideale

$$A_{bi} = A_b + n^o (A_a + A'_a); \qquad (X.28)$$

$$I_{bi} = I_b + n^o A_a (v-a)^2 + n^o A'_a (v'-a')^2. \qquad (X.29)$$

Poziția centrului de greutate se determină ținînd seama și de armătură.

Elementul este dimensionat corect dacă

$$\sigma_b \leqslant \overline{R}^o_{pr};$$

$$\sigma_a \leqslant \overline{R}^o_a.$$

Scanned with OKEN Scanner

XI

NOȚIUNI GENERALE PENTRU CALCULUL ELEMENTELOR DE BETON PRECOMPRIMAT

1. Definiția principalelor noțiuni utilizate în calculul elementelor de beton precomprimat

Prin element de beton precomprimat se înțelege un element de construcție în care se introduce o stare inițială de eforturi de compresiune cu caracter permanent; operația prin care se realizează această stare de eforturi se numește *precomprimare.*

Normativul P. 8-62 se referă numai la elementele la care precomprimarea se realizează cu ajutorul unei armături denumită *armătură pretensionată,* căreia i se asigură aderența cu betonul. Operația de întindere a armăturii este denumită *pretensionare.*

Forța exercitată de armătura pretensionată asupra elementului este denumită *forță de precomprimare.*

Acțiunea de transmitere a efortului din armătura pretensionată asupra elementului se numește *transfer.*

Precomprimarea se efectuează înainte de aplicarea încărcărilor exterioare astfel încît, sub acțiunea ulterioară a acestora, betonul să lucreze numai la compresiune sau la eforturi unitare de întindere compatibile cu condițiile de exploatare prescrise.

Se deosebesc următoarele două categorii de armături pretensionate:

— *armătura preîntinsă* este armătura întinsă înainte de turnarea elementului, între puncte fixe, culei sau cofraje rigide, capabile să preia pînă la transfer efortul din armătura

Scanned with OKEN Scanner

pretensionată; în acest caz armătura este aderentă, conlucrînd cu betonul din momentul întăririi acestuia.

Operația de la sfîrșitul întinderii, prin care armătura preîntinsă este fixată pe culei sau pe cofrajul metalic, este denumită *blocare*.

După întărirea betonului și atingerea rezistenței prescrise, se efectuează transferul prin eliberarea armăturii de pe culei (cofraje) sau prin tăierea armăturii la capetele elementului;

— *armătura postîntinsă* este armătura așezată fie în canale amenajate în interiorul elementului, fie la exterior, fără a avea inițial aderență cu betonul.

După întărirea betonului, armătura se întinde cu dispozitive speciale care reazemă direct pe element, astfel încît transferul are loc concomitent cu pretensionarea.

În această categorie intră și elementele și construcțiile la care precomprimarea se realizează prin înfășurarea armăturii sub tensiune pe betonul întărit (tuburi, rezervoare etc.).

Operațiunea de la sfîrșitul întinderii prin care armătura postîntinsă este fixată pe element, este denumită *blocare*.

Aderența armăturii postîntinse se realizează după precomprimare prin *injectare*, *betonare* sau *torcretare*, asigurîndu-se prin aceste măsuri și protecția armăturii împotriva coroziunii.

Ancorarea armăturii pretensionate se realizează prin:

— *aderența dintre armătura pretensionată și beton* pe o anumită lungime de la extremitatea elementului denumită *lungime de ancorare;*

— *ancorarea cu piese speciale prevăzute la extremitățile armăturii pretensionate (ancoraje)*, care pot fi metalice sau de beton armat, înglobate în masa betonului sau dispuse la suprafața elementului.

Ancorarea prin aderență se utilizează de regulă la elementele de beton precomprimat cu armătură preîntinsă, iar cea cu ancoraje la elementele cu armătură postîntinsă.

După modul de realizare a elementelor de beton precomprimat se deosebesc:

a) elemente turnate direct la dimensiunile finale; acestea pot fi:

— *monolite*, turnate în amplasamentul definitiv;

— *preturnate*, turnate la nivelul terenului și montate apoi în amplasamentul definitiv;

Scanned with OKEN Scanner

— *prefabricate*, turnate în unități centralizate specializate, iar apoi transportate și montate în amplasamentul definitiv;

b) elemente asamblate, din bolțari sau din panouri prefabricate, prin postîntinderea armăturii;

c) elemente mixte, a căror secțiune este compusă parțial din beton precomprimat și parțial din beton adăugat ulterior, nesupus precomprimării și la care se asigură, pînă la ruperea elementului, conlucrarea dintre cele două betoane din secțiune.

Se denumește *zonă întinsă* din secțiunea unui element de beton precomprimat, zona care, în ipoteza de calcul considerată este solicitată la întindere.

Se denumește *zonă comprimată* din secțiunea unui element de beton precomprimat, zona care, în ipoteza de calcul considerată, este solicitată la compresiune.

Se notează cu:

A_p — armătura pretensionată din acea zonă a secțiunii care este întinsă în starea limită de rezistență în exploatare;

A'_p — armătura pretensionată din acea zonă a secțiunii care este comprimată în starea limită de rezistență în exploatare.

Se denumește *zonă de ancorare* porțiunea dintr-un element de beton precomprimat cuprinsă între suprafața de rezemare a ancorajului și secțiunea transversală a elementului în care se realizează, conform calculului, o repartiție liniară a eforturilor unitare din betonul secțiunii.

Se definește drept *efort unitar de calcul*, efortul unitar din armătura pretensionată în acel stadiu de încărcare în care are loc anularea efortului unitar din fibra de beton de la nivelul armăturii considerate.

Efortul unitar de calcul se stabilește în următoarele două faze de comportare ale elementelor de beton precomprimat:

— *faza inițială*, imediat după transfer, notîndu-se cu σ_0 pentru armătura pretensionată A_p, respectiv σ pentru armătura pretensionată A'_p;

— *faza finală*, după ce s-au amortizat integral toate procesele deformative vîscos-plastice din betonul și armătura secțiunii elementului, notîndu-se cu σ_0 pentru armătura pretensionată A_p, respectiv $\bar{\sigma}'_0$ pentru armătura pretensionată A

Diferența dintre eforturile unitare de calcul din armătura pretensionată în faza inițială și în faza finală constituie *pier-*

Scanned with OKEN Scanner

derile de tensiune în timp din armătura pretensionată. Se deosebește:

— pierderea de tensiune în timp datorită fenomenului de relaxare a efortului din armătura pretensionată, notată cu $\Delta\sigma_r$, respectiv $\Delta\sigma'_r$;

— pierderea de tensiune în timp datorită contracției și curgerii lente a betonului, notată cu $\Delta\sigma_{\overline{\varphi}}$, respectiv $\Delta\sigma'_{\overline{\varphi}}$.

Se definește drept efort *unitar de control*, notat cu σ_k, efortul unitar introdus la pretensionare în armătura pretensionată, prin dispozitivul de întindere.

Diferența dintre efortul unitar de control și efortul unitar de calcul în faza inițială pentru cazul armăturilor preîntinse, — respectiv efortul unitar efectiv din armătura pretensionată imediat după transfer pentru cazul armăturilor postîntinse, în orice punct de pe traseul armăturii, — constituie *pierderile de tensiune în cursul precomprimării* în punctul respectiv. Aceste pierderi de tensiune se pot compensa prin alegerea corespunzătoare a efortului unitar de control, astfel încît să se realizeze valoarea maximă prescrisă pentru efortul unitar de calcul în faza inițială.

Se deosebește:

a) la elemente cu armătură preîntinsă

— pierderea de tensiune datorită lunecărilor și deformațiilor locale în ancoraje la blocare, notată cu $\Delta\sigma_\lambda$, respectiv $\Delta\sigma'_\lambda$;

— pierderea de tensiune datorită tratamentului termic al betonului, notată cu $\Delta\sigma_t$, respectiv $\Delta\sigma'_t$;

b) la elemente cu armătură postîntinsă

— pierderea de tensiune datorită frecărilor armăturii pe traseu, notată cu $\Delta\sigma_f$, respectiv $\Delta\sigma'$;

— pierderea de tensiune datorită lunecărilor și deformațiilor locale în ancoraje la blocare, notată cu $\Delta\sigma_\lambda$, respectiv $\Delta\sigma'_\lambda$;

— pierderea de tensiune datorită efectului întinderii succesive a armăturilor, notată cu $\Delta\sigma_s$, respectiv $\Delta\sigma'_s$;

— pierderea de tensiune datorită strivirii betonului sub armături înfășurate, notată cu $\Delta\sigma_{str}$.

Calculul elementelor de beton precomprimat la starea limită de rezistență și de stabilitate (flambaj), la starea limită de apariție a fisurilor și la starea limită de deschidere a fisurilor se face:

— la transfer;

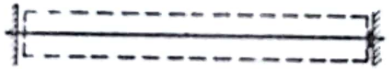
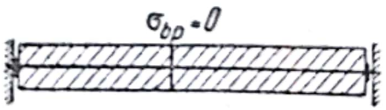
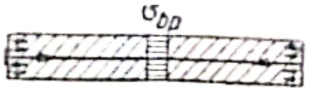
— la transport sau montaj;

— în exploatare.

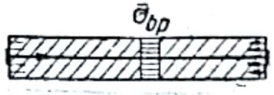
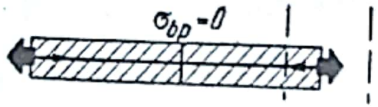
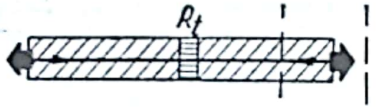
Scanned with OKEN Scanner

Tabela XI.1

Evoluția stării de eforturi dintr-un element precomprimat centric și solicitat la întindere centrică
Armătura preîntinsă

Nr. crt.	Etapa	Schema	Efortul unitar	
			În armătura pretensionată	În beton
1	Armătura înainte de întindere		0	—
2	Armătura preîntinsă înainte de a se bloca pe culei		$\sigma_k < R_p$	—
3	Armătura după blocare pe culei		$\sigma_k - \Delta\sigma_\lambda$	—
4	Elementul betonat și tratat termic		$\sigma_0 = \sigma_k - (\Delta\sigma_\lambda + \Delta\sigma_t) \leqslant 0{,}7R_p^n$	0
5	După transfer		$\sigma_p = \sigma_0 - n\sigma_{bp}$	σ_{bp}

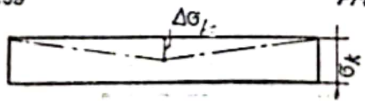
Scanned with OKEN Scanner

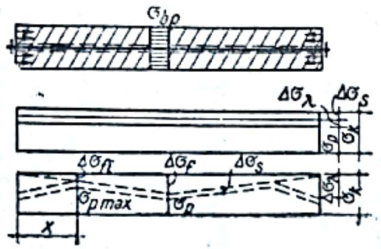
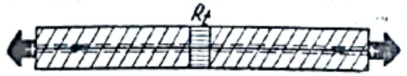
6	După ce au avut loc toate pierderile de tensiune		$\bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_0 - n_p \bar{\sigma}_{bp}$ unde $\bar{\sigma}_0 = \sigma_0 - (\Delta\sigma_r + \Delta\sigma_{\bar{\varphi}})$	$\bar{\sigma}_{bp}$
7	Sub o solicitare exterioară de asemenea mărime încît anulează efortul unitar de compresiune din beton		$\bar{\sigma}_0$	0
8	Imediat înaintea fisurării		$\bar{\sigma}_0 + 200$	R_t
9	După fisurare		$< R_p$ (în dreptul fisurii) In starea limită de rezistență R_p	—
10	După descărcare		$\lesssim \bar{\sigma}_p$	$\bar{\sigma}_{tp}$

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XI.2

Evoluția stării de eforturi dintr-un element precomprimat centric și solicitat la întindere centrică
Armătura postîntinsă

Nr. crt.	Etapa	Schema	Efortul unitar	
			În armătura pretensionată	În beton
1	Armătura înainte de întindere		0	—
2	Element la turnare		—	0
3	Element întărit — a avut loc contracția betonului pînă în momentul precomprimării. Armătura s-a introdus în canal		0	0
4	După terminarea operației de întindere a armăturii și înaintea blocării acesteia în ancoraje la capetele elementului		La presă $\sigma_k < R_p$ În secțiune mediană: — fără frecare pe traseu σ_k — cu frecare pe traseu $\sigma_k - \Delta\sigma_f$	Nu se calculează în mod curent
	Variația efortului unitar în lungul armăturii pretensionate: —— fără frecare pe traseu —— cu frecare pe traseu			

5	După blocarea armăturii și eventuala întindere ulterioară a altor armături pretensionate Variația efortului unitar în lungul armăturii pretensionate — fără frecare pe traseu — cu frecare pe traseu		În dreptul ancorajului $\sigma_k - (\Delta\sigma_\lambda + \Delta\sigma_s)$ Într-o secțiune oarecare: — fără frecare pe traseu $\sigma_p = \sigma_k - (\Delta\sigma_\lambda + \Delta\sigma_s) = \sigma_0 - n\sigma_{bp}$; $\sigma_0 \leqslant 0{,}7R_p^n$ — cu frecare pe traseu $\sigma_p = \sigma_k - (\Delta\sigma_f + \Delta\sigma_s) = \sigma_0 - n\sigma_{bp}$ În secțiunea cu efort maxim în armătură, la distanța x de capăt, pînă unde se resimte efectul lunecării și strivirilor locale în ancoraje la blocare: $\sigma_0 \leqslant 0{,}7\,R_p^n$	σ_{bp}
6	După ce au avut loc toate pierderile de tensiune		$\bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_0 - n\bar{\sigma}_{bp}$ unde $\bar{\sigma}_0 = \sigma_0 - (\Delta\sigma_r + \Delta\sigma_\varphi)$	$\bar{\sigma}_{bp}$
7	Sub o solicitare exterioară de asemenea mărime încît anulează efortul unitar inițial de compresiune din beton		$\bar{\sigma}_0$	0
8	Imediat înainte de fisurare		$\bar{\sigma}_0 + 200$ $< R_p$ (în dreptul fisurii)	R_t
9	După fisurare		În starea limită de rezistență R_p	—
10	După descărcare		$\lesssim \bar{\sigma}_p$	$\lesssim \bar{\sigma}_{bp}$

Scanned with OKEN Scanner

Calculul elementelor de beton precomprimat la starea limită de oboseală și la starea limită de deformație se face numai pentru încărcările care acționează în exploatare.

Calculul elementelor de beton precomprimat la starea limită de rezistență și la starea limită de apariție a fisurilor se face în secțiuni normale și în secțiuni înclinate pe axa elementului.

Pentru verificarea la transfer, greutatea proprie se consideră în calcul cu coeficientul de supraîncărcare 0,9.

Verificarea la transport sau montaj se face numai dacă schema de rezemare în timpul transportului și montajului diferă de schema de rezemare la transfer.

În calcule se ține seama de variațiile posibile ale forței de precomprimare față de valoarea prescrisă prin introducerea unui *coeficient de imprecizie*, m_0, egal cu 0,9 sau cu 1,1, după cum este mai defavorabil.

Pentru exemplificare s-a reprezentat evoluția stării de eforturi dintr-un element precomprimat centric și solicitat la întindere centrică, în toate fazele de execuție și exploatare, în tabela XI.1 pentru cazul armăturii preîntinse, iar în tabela XI.2 pentru cazul armăturii postîntinse.

2. Principalele etape în calculul elementelor de beton precomprimat

În practica de proiectare succesiunea operațiilor de calcul pentru elementele de beton precomprimat este următoarea:

a) stabilirea caracteristicilor geometrice ale secțiunii;

b) stabilirea efortului unitar de calcul în faza inițială, a efortului unitar de control și a pierderilor de tensiune din armătura pretensionată în cursul precomprimării;

c) stabilirea pierderilor de tensiune în timp și a efortului unitar de calcul din armătura pretensionată, în faza finală;

d) verificarea la starea limită de rezistență în timpul exploatării precum și la transfer, transport sau montaj;

e) verificarea la starea limită de apariție a fisurilor în timpul exploatării, transferului, montajului sau transportului;

f) verificarea zonelor de ancorare;

g) verificarea la starea limită de deformație.

Elementele solicitate de încărcări repetate se verifică și la starea limită de oboseală.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru elementele în care se admit fisuri în timpul exploatării (categoria III de fisurabilitate) verificarea la starea limită de apariţie a fisurilor se înlocuieşte cu verificarea la starea limită de deschidere a fisurilor.

3. Materiale pentru elementele de beton precomprimat

a. *Beton pentru elemente de beton precomprimat*

Pentru confecţionarea elementelor de beton precomprimat se utilizează betoane avînd marca, respectiv rezistenţa la transfer pe cubul cu latura de 20 cm, cel puţin egală cu valorile prevăzute în tabela XI.3.

La construcţiile pentru care se cere efectuarea calculului la starea limită de oboseală valorile trecute în tabela XI.3 la pct. 2 şi 5 vor fi sporite cu 25%.

La construcţiile cu armături postîntinse se permite prevederea prin proiect a efectuării precomprimării în mai multe etape distincte. În acest caz, întinderea primului grup de armături poate avea loc după ce rezistenţa pe cub a betonului este egală cu cel puţin jumătate din valorile trecute în ultima coloană a tabelei XI.3.

La construcţiile din bolţari sau din panouri prefabricate asamblate prin postîntinderea armăturii, marca mortarului sau

Tabela XI.3

Valori minime ale mărcii şi rezistenţei betonului la transfer

Nr. crt.	Tipul construcţiei	Marca betonului kgf/cm²	Rezistenţa pe cub la transfer, kgf/cm²
1	Construcţii de deschidere mare la care greutatea proprie constituie cea mai mare parte a încărcării de calcul	400	250
2	Construcţii (cu excepţia celor de la nr. 1) armate cu:		
	a) armături postîntinse	300	200
	b) armături preîntinse		
	— sîrme împletite	400	250
	— sîrme cu profil periodic	400	250
	— bare cu profil periodic	300	200
3	Beton în calaje sub ancoraje, blocuri sau pahare de ancorare	—	500
4	Pereţi la construcţii cu armătură pretensionată înfăşurată la exterior (rezervoare, silozuri)	300	200
5	Beton nesupus precomprimării nî elemente mixte	150	—

Scanned with OKEN Scanner

betonului din rosturi trebuie să fie egală cu marca betonului din bolțari sau panouri.

La rosturi cu grosimea pînă la 30 mm, rezistența pe cub la transfer a mortarului din rost poate fi redusă cu 30% față de valorile trecute în ultima coloană a tabelei XI.3.

În cazul elementelor cu armătură postîntinsă așezată la exteriorul secțiunii, marca mortarului sau betonului pentru protecția armăturilor și realizarea aderenței trebuie să fie egală cu marca elementului.

În cazul elementelor cu armătură postîntinsă introdusă în canale amenajate în interiorul secțiunii, mortarul de injectare va avea rezistența la compresiune de cel puțin 200 kgf/cm^2. Rezistența mortarului se determină pe cuburi cu latura de 7,07 cm, păstrate în aer umed și încercate la vîrsta de 7 zile.

În tabela XI.4 se dau rezistențele de calcul ale betonului pentru elementele de beton precomprimat, determinate prin înmulțirea rezistențelor normate cu coeficienții de omogenitate și cu următorii coeficienți ai condițiilor de lucru:

m_b=0,95 pentru betonul de marca B 500 din zona comprimată;

m_b=0,90 pentru betonul de marca B 600 din zona comprimată;

m_b=1,2 pentru betonul zonelor comprimate la calculul în fază inițială;

m_b=1,5 pentru betonul zonelor întinse la calculul în starea limită de apariție a fisurilor.

Tabela XI.4

Rezistențele de calcul ale betonului pentru elemente de beton precomprimat, în kgf/cm^2

Nr. crt.	Natura solicitării	Notația	Marca betonului							
			B 100	B 150	B 200	B 250	B 300	B 400	B 500	B 600
1	Compresiune centrică (rezistență prismatică)									
	a) în faza inițială	R^i_{pr}	55	75	95	120	150	200	240	270
	b) în faza finală	R_{pr}	45	65	80	100	130	170	200	230
2	Compresiune din încovoiere									
	a) în faza inițială	R^i_t	65	95	120	145	190	250	300	340
	b) în faza finală	R_i	55	80	100	120	160	210	250	280
3	Întindere	R_t	6,0	8,0	9,5	11,5	14,0	17,0	19,0	20,0

Scanned with OKEN Scanner

Pentru elementele solicitate la compresiune centrică sau excentrică sub acțiunea încărcărilor exterioare, valorile R_{pr} și R_t din tabela XI.4 vor fi reduse prin înmulțire cu următorii coeficienți suplimentari ai condițiilor de lucru:

— pentru elemente turnate în poziție orizontală

$m_b = 0{,}85$ pentru elemente avînd dimensiunea cea mai mică sub 30 cm;

$m_b = 1{,}00$ pentru elemente avînd dimensiunea cea mai mică de 30 cm sau mai mare;

— pentru elemente turnate în poziție verticală

$m_b = 0{,}70$ pentru elemente avînd dimensiunea cea mai mică sub 30 cm;

$m_b = 0{,}85$ pentru elemente avînd dimensiunea cea mai mică de 30 cm sau mai mare.

Pentru verificarea în starea limită de rezistență sau de apariție a fisurilor la transfer, transport sau montaj, rezistențele de calcul se stabilesc în funcție de rezistența efectivă la data respectivă, determinată pe cuburi cu latura de 20 cm. În acest scop se interpolează între valorile din tabela XI.4, considerînd această rezistență pe cub drept marcă convențională a betonului, corespunzătoare vîrstei acestuia în momentul transferului (respectiv transportului sau montajului).

b. *Armături pentru elemente de beton precomprimat*

Pentru armăturile nepretensionate din elementele de beton precomprimat se aplică toate prevederile referitoare la armăturile din elementele de beton armat de la cap. I.

În R.P.R. armăturile pretensionate se realizează în mod curent din sîrme netede din oțel carbon trase la rece, de secțiune rotundă, de calitate SBP I sau SBP II.

Valorile rezistențelor normate R_p^n, egale cu rezistențele la tracțiune σ_r, precum și valorile coeficientului de omogenitate k_p și ale coeficienților condițiilor de lucru m_{ap} pentru armături pretensionate alcătuite din sîrme SBP, izolate, împletite cîte două sau trei și fascicule din sîrme paralele, se dau în tabela XI.5.

În aceeași tabelă se dau valorile rezistențelor de calcul ale armăturilor R_p, determinate prin înmulțirea rezistențelor normate cu coeficientul de omogenitate și cu coeficientul corespunzător al condițiilor de lucru.

Scanned with OKEN Scanner

Rezistenţe normate, coeficienţi de omogenitate, coeficienţi ai condiţiilor de lucru şi rezistenţe de calcul pentru armături pretensionate din sîrme SBP

Calitatea sîrmei	Diametrul sîrmei	Rezistenţe normate R_p^n	Coeficient de omogenitate k_p	Rezistenţe de calcul, kgf/cm²			
				Armătura longitudinală; armătura transversală, pentru calculul în secţiuni înclinate la moment încovoietor		Armătura transversală pentru calculul în secţiuni înclinate la forţa tăietoare	
	mm	kgf/cm²		m_{ap}	R_p, kgf/cm²	m_{ap}	R_{pt}, kgf/cm²
SBP I	1,0	22 500	0,8	1,0	18 000	0,7	12 600
	1,5	21 500			17 200		12 000
	2,0	20 500			16 200		11 500
	2,5	19 000			15 200		10 600
	3,0	18 000			14 400		10 000
	4,0	17 000			13 600		9 500
	5,0	16 500			13 200		9 200
	(6,0)	16 000			12 800		8 900
	(7,0)	15 000			12 000		8 400
SBP II	1,0	21 000			16 800		11 700
	1,5	19 000			15 200		10 600
	2,0	18 000			14 400		10 000
	2,5	17 000			13 600		9 500
	3,0	16 000			12 800		8 900
	4,0	15 500			12 400		8 600
	5,0	15 000			12 000		8 400
	(6,0)	14 500			11 600		8 100
	(7,0)	14 000			11 200		7 800

Observaţie. Diametrele în paranteză, precum şi alte diametre neprevăzute în tabelă, se livrează cu acordul producătorului.

Pentru calculul eforturilor unitare în elementele de beton precomprimat, modulul de elasticitate al armăturilor pretensionate realizate din sîrme SBP, se consideră $E_p = 1\,800\,000$ kgf/cm².

Valorile coeficientului de echivalenţă pentru calculul eforturilor unitare, $n = \frac{E_p}{E_b}$, se dau în tabela XI.6.

Valorile de calcul ale rezistenţelor la oboseală pentru armături pretensionate alcătuite din sîrme SBP izolate, împletite cîte două sau trei şi fascicule din sîrme împletite, se ob-

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XI.6

Coeficienţi de echivalenţă n

Marca betonului	B-100	B-150	B-200	B-250	B-300	B-400	B-500	B-600
n	9,5	7,8	6,8	6,2	5,7	5,15	4,75	4,5

ţin prin înmulţirea valorilor corespunzătoare ale rezistenţelor normate din tabela XI.5 cu coeficientul k_p^o dat în tabela XI.7, în funcţie de amplitudinea ciclului.

Nu se recomandă utilizarea construcţiilor din beton precomprimat, prevăzute cu asemenea armătură şi calculate la oboseală, pentru care $\rho > 0{,}25$.

Tabela XI.7

Valorile coeficientului k_p^0 pentru determinarea rezistenţelor de calcul la oboseală, la armături pretensionate din sîrme SBP

ρ	$\rho \leqslant 0{,}15$	$0{,}15 < \rho \leqslant 0{,}20$	$0{,}20 < \rho \leqslant 0{,}25$
k_p^0	0,6	0,55	0,5

Valorile coeficientului de echivalenţă pentru calculul la oboseală $n^o = \frac{E_p}{E_b^o}$, în care E_b^o este modulul de elasticitate al betonului la oboseală, se dau în tabela XI.8.

Tabela XI.8

Coeficienţi de echivalenţă n^o

Marca betonului	B-250	B-300	B-400	B-500	B-600
n^o	20	17	13	11	10

În cazul utilizării unor armături pretensionate alcătuite din oţeluri de înaltă rezistenţă de altă calitate decît sîrma SBP, valorile rezistenţelor normate, ale coeficienţilor de omogenitate, ale coeficienţilor condiţiilor de lucru şi ale rezistenţelor de calcul corespunzătoare se adoptă pe baza unor instrucţiuni speciale.

Pentru sîrme, toroane şi cabluri, rezistenţa normată se consideră egală cu rezistenţa la tracţiune σ_r a oţelului.

Pentru bare, rezistenţa normată se consideră egală cu limita de curgere $\sigma_{0,2}$ a oţelului.

Dacă se impun prin proiect operaţii speciale de prelucrare a armăturii (îndreptare, calibrare, împletirea sîrmelor cu

Scanned with OKEN Scanner

un pas mai mic decît 15—20 ∅, ondulare, profilare, filetare, îndoirea după raze mai mici decît 3,5 ∅ etc.), trebuie prevăzută obligativitatea verificării prin încercări a influenței acestor prelucrări asupra proprietăților mecanice ale oțelului.

Rezistența de calcul a armăturii trebuie redusă în mod corespunzător dacă, în urma acestor operații, rezistența armăturii scade cu mai mult decît 5%.

Trebuie evitate operațiile de prelucrare în urma cărora rezistența la rupere a oțelului scade cu mai mult decît 10%.

În cazul sîrmelor care trebuie îndreptate înainte de punerea în operă, se recomandă calibrarea după îndreptare, prin întinderea sîrmei la un efort unitar egal cu R_p.

Scanned with OKEN Scanner

XII

PRESCRIPȚII CONSTRUCTIVE PENTRU ELEMENTE DE BETON PRECOMPRIMAT

1. Secțiunea de beton a elementului

Forma și dimensiunile secțiunii transversale a elementelor încovoiate de beton precomprimat trebuie să satisfacă condițiile de rezistență și rigiditate prescrise la montaj și în exploatare, să asigure o cofrare și turnare comodă și să permită amplasarea corespunzătoare a armăturilor pretensionate. În acest scop se recomandă utilizarea secțiunilor I sau casetate.

Racordările între inimă și talpă se vor face prin vute sau rotunjiri. Eventualele goluri prevăzute în inima grinzilor se vor realiza cu colțurile rotunjite, iar pe conturul lor se va dispune o armătură constructivă din oțel-beton.

Secțiunea elementelor se va spori la nevoie în zona de ancorare pentru a reduce eforturile și a permite amplasarea ancorajelor și a dispozitivelor de tensionare în cazul armăturilor postîntinse.

În cazul armăturilor postîntinse exterioare, forma secțiunii trebuie să asigure o cît mai bună conlucrare a mortarului sau a betonului de protecție a armăturilor cu betonul elementului.

Dimensiunile minime ale secțiunii transversale se aleg în funcție de modul de compactare a betonului, care trebuie indicat pe planșele proiectului de execuție ca tehnologie obligatorie.

Dacă se prevede compactarea betonului prin vibrare cu vibratoare de cofraj sau pe masă vibrantă, dimensiunile minime ale secțiunii transversale rezultă din condițiile prescrise

Scanned with OKEN Scanner

pentru distanţele dintre armături şi grosimea stratului de acoperire cu beton.

Dacă se prevede compactarea betonului prin pervibrare, dimensiunile minime ale secţiunii transversale rezultă din condiţia de introducere pe verticală a pervibratorului în cofraj, fără atingerea armăturilor preîntinse sau a tecilor şi ţevilor de formare a canalelor pentru trecerea armăturilor postîntinse. În acest scop, se recomandă a se dispune plase sau frete speciale din oţel-beton care să asigure ghidarea pervibratorului.

Dacă din motive de tehnologie, transport sau montaj, nu este posibilă realizarea elementului de beton precomprimat prin turnare direct la dimensiunile finale, acesta poate fi împărţit în bolţari sau panouri asamblate prin postîntinderea armăturii.

Rosturile de separaţie dintre bolţari sau panouri se recomandă a se prevedea plane şi perpendiculare pe direcţia forţei de precomprimare. Dacă unghiul dintre planul rostului şi direcţia forţei de precomprimare scade sub 68°, rostul se va prevedea cu dinţi de înclinare corespunzătoare (una din feţe perpendiculară pe direcţia forţei de precomprimare din secţiune).

Rosturile se umplu cu mortar, recomandîndu-se în acest scop următoarele grosimi:

5—15 mm pentru elemente cu înălţimea pînă la 40 cm;
15—25 mm pentru elemente cu înălţimea între 40 şi 120 cm, precum şi panouri sau zăbrele de ferme;
25—40 mm pentru elemente cu înălţimea peste 120 cm.

La fixarea grosimii rosturilor trebuie ţinut seama şi de toleranţele admise la lungimea bolţarilor, în special în cazurile în care lungimea totală a elementului este limitată prin condiţii constructive.

La rosturi avînd peste 50 mm grosime, se va prevedea în rost o plasă de oţel-beton ∅ 5—6 mm.

În cazul prezenţei unor canale în secţiunea elementului, trebuie indicată prin proiect soluţia constructivă pentru trecerea acestor canale prin rost.

În cazul elementelor mixte, trebuie asigurată conlucrarea pieselor prefabricate din beton precomprimat cu betonul nesupus precomprimării. La suprafaţa de contact se vor prevedea în acest scop detalii constructive care să îndeplinească următoarele funcţii:

— transmiterea eforturilor de forfecare fără lunecări în lungul suprafeţei de contact. Pentru aceasta se poate conta pe aderenţa dintre betoane, realizînd prin mijloace adecvate o

Scanned with OKEN Scanner

suprafață cît mai rugoasă a elementului prefabricat, sau se vor dispune legături care lucrează la forfecare (dinți de beton sau etrieri);

— prevenirea separării elementelor pe o direcție perpendiculară pe suprafața de contact. Pentru aceasta, la piesele prefabricate cu armătură sub formă de dulapi sau bare de beton precomprimat se poate conta pe aderența dintre betoane, iar la celelalte elemente mixte se recomandă prelungirea tuturor etrierilor sau a unei părți din etrierii prevăzuți în inima piesei prefabricate, în betonul turnat ulterior, nesupus precomprimării.

2. Elemente cu armătură preîntinsă

Armăturile preîntinse ancorate prin aderență se realizează sub formă de sîrme împletite, toroane din 7 sîrme, sîrme sau bare cu profil periodic. Este permisă utilizarea de sîrme netede cu diametrul mai mic sau egal cu 2 mm.

Se vor prevedea prin proiect detalii constructive cum sînt carcase sau plase sudate, călăreți, distanțieri etc., care să asigure menținerea poziției corecte a armăturilor în secțiune în cursul turnării și compactării betonului.

Grosimea minimă a stratului de acoperire cu beton a armăturilor preîntinse realizate sub formă de sîrme netede, sîrme amprentate sau sîrme împletite va avea următoarele valori:

— pentru elemente care nu sînt supuse intemperiilor sau acțiunii agenților nocivi 12 mm;

— pentru elemente supuse intemperiilor, umidității ridicate (60—95%) sau înghețului-dezghețului repetat 20 mm;

— pentru elemente supuse acțiunii fumului sau agenților nocivi, în conformitate cu prescripții speciale dar nu sub 25 mm.

Grosimea minimă a stratului de acoperire cu beton a armăturilor preîntinse realizate sub formă de bare cu profil periodic se ia în conformitate cu prescripțiile pentru armături de rezistență în elementele de beton armat.

Pentru construcțiile care necesită măsuri speciale contra incendiilor se vor respecta prescripțiile corespunzătoare.

Distanța minimă (lumina) dintre armăturile preîntinse de orice tip se ia cel puțin egală cu diametrul barelor și minimum 1,5 cm; la stabilirea dimensiunilor maxime ale agregatelor utilizate se va ține seama de distanța (lumina) dintre armături.

Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Fascicul	Secțiune cm²	Diametrul exterior al fasciculului mm	Modul de realizare a distanțierilor	Diametrul canalului în funcție de modul de realizare a canalului		Grosimea minimă a stratului de acoperire cu beton		Distanța minimă (lumina) dintre canale	
					I Teacă de tablă $\varnothing_{int}$ mm / Teacă de PVC $\varnothing_{ext}/\varnothing_{int}$ mm	II Extragerea unei teci metalice sau de material plastic PVC $\varnothing$ exterior mm	I	II	I	II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	12 ○ 5 mm (10 ○ 5 mm) (8 ○ 5 mm)	2,35 (1,96) (1,57)	24	resort central	30 / 32/28,4	40	30 (20)[x]	40 (30)[x]	30	40
2	24 ○ 5 mm (20 ○ 5 mm) (18 ○ 5 mm) (16 ○ 5 mm)	4,70 (3,92) (3,53) (3,14)	45	resort central	50	55	40[xx]	50[xx]	30	50[xx]
3	12 ○ 7 mm (10 ○ 7 mm) (8 ○ 7 mm)	4,62 (3,85) (3,08)	34	resort central	40 / 50/46	50	40[xx]	50[xx]	30	50[xx]
4	36 ○ 5 mm (32 ○ 5 mm) (30 ○ 5 mm) (28 ○ 5 mm)	7,05 (6,27) (5,88) (5,49)	51	rozete stanțate sau resort central	60	63	40[xx]	50[xx]	30	50[xx]
5	44 ○ 5 mm (40 ○ 5 mm) (36 ○ 5 mm) (32 ○ 5 mm)	8,62 (7,83) (7,05) (6,27)	60	rozete stanțate sau resort central	65	70				

Se utilizează numai la elemente prefabricate sau prefurnate

Tabela XII.1

folosite în practica construcțiilor din R.P.R.

Tipul de ancoraj		Diametrul ancorajului la capătul tras, mm	Dimensiunile minime ale plăcii de repartiție		Distanța minimă între axele ancorajelor mm	Distanța minimă de la axele ancorajelor până la marginea secțiunii mm	Modul de realizare a injectării	Lungimi de fascicul necesare pentru prinderea în prese (măsurate de la suprafața de rezemare a ancorajelor)	
Capătul tras	Capătul fix		Izolată, mm	Comună la mai multe ancoraje, grosime mm				Tragere de la o extremitate	Tragerea de la ambele extremități
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
inel-con de beton armat	Înecat cu buclă sau dorn metalic	100	—	—	120	80	Prin axa ancorajului	70	120
inel-con metalic		80	10)×100×12	10	100 (90)+	70 (60)+			
inel-con metalic		120	140×140×15	12	140 (130)+	90 (80)+			
inel-con de beton armat		120	—	—	140	90			
inel-con metalic		110	140×140×15	12	140 (120)+	90 (75)+			
INCERC-100 (inel-con dublu) metalic		150	180×180×15	12	180	120++	Prin axa ancorajului pentru $l<12$ m Printr-un orificiu (teu) din punctul cel mai de jos al canalului și cu control prin orificii (teuri) prevăzute în lungul canalului la distanța de circa 12 m pentru $l>12$ m	95	170

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	De secțiune dreptunghiulară cu număr teoretic nelimitat de sîrme ∅ 5 mm	—	—	plăcuțe stanțate	—	—	lateral 80 dedesubt $\frac{b}{2} \geq 60$ (b=lățimea canalului)	—	0,6 $b \geq 80$ (b=lățimea canalului	—

Observații:

a) Fasciculele 24 ∅ 5 mm și 44 ∅ 5 mm nu sînt trecute în normativul
b) Fasciculele 12 ∅ 5 mm, 24 ∅ 5 mm și 12 ∅ 7 mm au sîrmele dispuse dispuse pe două rînduri concentrice.
c) Tipurile de fascicule trecute în paranteze în coloana 2 se pot utiliza în pe aceiași distanțieri, cu același tip de canal, ancoraj și dispozitiv de tensionare
d) Valorile în paranteză notate cu × se referă la plăci și pereți cu grosimea
e) Valorile notate cu ×× se pot reduce cu 10 mm în cazul elementelor de
f) Valorile în paranteze notate cu + se referă la cazul plăcilor de repartiție
g) Valorile notate cu ++ se pot reduce în cazul plăcilor de repartiție comune
h) În cazul ancorajului cu dorn metalic, valorile din coloana 18 sînt apropiată a secțiunii. În cazul în care dornul se dispune perpendicular pe plăcuței sub dorn, situată lîngă marginea secțiunii.
i) Lungimile indicate pentru prinderea în presă s-au dat cu valoarea maxi
j) Canalele circulare realizate cu teacă se pot dispune fără interspații pe

Se pot alege și alte dispoziții în secțiune a armăturilor preîntinse (de exemplu armături joantive) pe baza verificării experimentale.

Dispoziția armăturilor în secțiune trebuie să permită turnarea și vibrarea în condiții optime a betonului.

Armătura nepretensionată sub formă de bare longitudinale și etrieri se va realiza cu respectarea prevederilor pentru elementele de beton armat.

Nu este permisă prevederea de armătură nepretensionată din sîrmă trasă la rece.

Pe întreaga lungime a zonei de ancorare în grinzi se vor prevedea etrieri, stabiliți prin calcul sau dispuși constructiv.

3. Elemente cu armătură postîntinsă

Prin procedeu de precomprimare cu armături postîntinse se înțelege ansamblul soluțiilor constructive pentru alcătuirea fasciculului, realizarea canalului pentru trecerea armăturii postîntinse, tipul de ancoraj pentru fasciculul considerat, amenajarea zonei de ancorare, realizarea pretensionării și protecției armăturii contra coroziunii.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XII.1 (continuare)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
bloc de ancorare mobil de beton armat	înecat cu buclă	—	—	—	—	—	Injectare către ambele capete ale canalului prin puncte situate în lungul canalului	Funcțiile de caracteristicile ancorajului și utilajului de pretensionare	

P 8-62, fiind introduse în practică după aprobarea normativului.
circular pe un singur rînd; fasciculele 36 ∅ 5 mm și 44 ∅ 5 mm au sîrmele

mod excepțional, pe baza unei justificări tehnico-economice. Ele se realizează
ca și fasciculul de bază din care au derivat prin eliminarea unui număr de sîrme.
pînă la 10 cm inclusiv.
mare serie executate în fabrici de prefabricate, pe baza verificării experimentale.
comune la toate ancorajele.
la toate ancorajele, pe baza verificării experimentale.
valabile pentru cazul în care dornul se dispune paralel cu marginea cea mai
marginea cea mai apropiată, distanța minimă prescrisă se măsoară din axa

mă pentru a satisface toate tipurile de utilaje de pretensionare existente în țară.
verticală, pe baza verificării experimentale

În tabela XII.1 se dau caracteristicile constructive ale procedeelor de precomprimare cu armături postîntinse folosite în practica construcțiilor din R.P.R.

Introducerea altor procedee de precomprimare se admite numai pe baza verificării experimentale.

Se recomandă ridicarea armăturilor către capetele elementului pentru asigurarea rezistenței la fisurare în zonele dinspre reazeme, pentru micșorarea eforturilor unitare principale de întindere, pentru amplasarea convenabilă a ancorajelor și reducerea solicitărilor locale în zona de ancorare.

Unghiul de înclinare a armăturilor se recomandă să nu depășească 30° față de axa longitudinală a elementului.

În cazul canalelor de beton realizate prin extragerea unor țevi din material plastic PCV, lungimea maximă de extragere este de 11,00 m pentru trasee rectilinii și 9,00 m pentru trasee prezentînd curbe, iar deviația unghiulară maximă pentru porțiunea extrasă nu va depăși 20°.

Traseul canalelor de secțiune circulară se recomandă să se alcătuiască din porțiuni rectilinii racordate prin porțiuni

Scanned with OKEN Scanner

curbe cu rază de curbură de cel puțin 4,00 m la canale cu diametrul pînă la 40 mm și 5,00 m la canale cu diametrul peste 40 mm.

Traseul canalelor de secțiune dreptunghiulară se recomandă să se alcătuiască din porțiuni rectilinii prevăzute în punctele de schimbare de pantă cu dispozitive speciale de deviere, lunecare și reducere a frecării.

Axa armăturii trebuie să coincidă cu axa ancorajului pe o lungime de cel puțin 50 cm.

La ridicarea armăturilor se recomandă respectarea următoarelor condiții:

— punctul teoretic de ridicare a armăturii să fie la o distanță de cel puțin $h_0/2$ de la secțiunea normală pe axa elementului în care armătura ce se ridică este complet utilizată la momentul încovoietor;

— punctul de tangență al curbei de racordare la porțiunea rectilinie să nu depășească secțiunea menționată;

— capătul superior al armăturii înclinate să depășească secțiunea normală pe axa elementului în care armătura ce se ridică nu mai este necesară la moment încovoietor.

Armătura ancorată în zona întinsă se va prelungi dincolo de secțiunea normală în care nu mai este necesară la moment încovoietor cu lungimea indicată în cazul elementelor de beton armat (v. cap. VI, B), în care se înlocuiește 5 d cu $h/4$ (unde h reprezintă înălțimea elementului).

Pentru menținerea poziției corecte a armăturilor în secțiune în cursul turnării și compactării betonului, se vor prevedea în proiect detalii corespunzătoare pentru fixare (carcase sau plase sudate, călăreți, diafragme, distanțieri sau suporți de beton, armături de oțel moale, console sau alte legături cu cofrajul etc.).

Distanța dintre punctele de susținere a tecilor în cofraj nu va depăși 1,00 m la fascicule 12 ∅ 5 mm și 1,50 la celelalte fascicule. Se vor prevedea în mod obligatoriu puncte de fixare la extremitățile porțiunilor curbe, respectiv în punctele de schimbare de pantă.

În planșele de execuție se va indica traseul curbelor de racordare prin puncte situate la distanțe de maximum 1,00 m. Se vor da în mod obligatoriu cotele punctelor de tangență și cel puțin un punct intermediar, la mijlocul lungimii curbei de racordare.

Scanned with OKEN Scanner

Armătura longitudinală nepretensionată trebuie să fie dispusă către exteriorul secțiunii și să formeze împreună cu etrierii o carcasă, cuprinzînd armătura pretensionată.

Armătura nepretensionată se va realiza cu respectarea prevederilor pentru elemente de beton armat.

În punctele de schimbare de direcție a armăturii pretensionate peste reazeme, se armează local zona de beton cu plase sau frete de oțel-beton.

În punctele de răsfirare a armăturilor pretensionate se prevăd etrieri închiși sau frete de oțel-beton.

În zonele de ancorare se prevede în mod obligatoriu armătură transversală sub formă de plase sudate sau legate cu sîrmă, sau sub formă de frete.

În dreptul fiecărui ancoraj se dispun fie cel puțin două plase de armare dintre care prima situată la 3 cm de la fața ancorajului, fie o fretă.

Plasele se realizează din bare continue ∅ 6—14 mm, cu ochiurile cuprinse între 6 și 10 cm. Se recomandă ca plasele să fie comune la cît mai multe ancoraje.

Fretele se execută din bare ∅ 6—10 mm, avînd diametrul interior cu cel puțin 3 cm mai mare decît diametrul ancorajului, iar pasul nu mai mic decît 3 cm.

La capetele elementelor se vor prevedea spații libere corespunzătoare gabaritelor dispozitivelor de întindere.

Protecția contra coroziunii a armăturilor postîntinse trebuie efectuată în cel mai scurt timp după terminarea operațiilor de precomprimare.

Armăturile amplasate în canale amenajate în interiorul secțiunii se protejează contra coroziunii prin injectare cu mortar de ciment.

Armăturile amplasate în exteriorul secțiunii se protejează contra coroziunii prin torcretare sau betonare. Acoperirea cu mortar sau beton va respecta prevederile pentru armături preîntinse, avînd însă grosimea minimă de 20 mm.

Este necesară asigurarea unei cît mai bune conlucrări între mortarul sau betonul de protecție și betonul elementului, prin etrieri de legătură lăsați sub forma de mustăți de la turnare sau trecuți ulterior prin goluri lăsate la turnare în betonul elementului. În acest caz, acoperirea cu mortar sau beton a acestor etrieri de legătură trebuie să respecte prevederile pentru elementele de beton armat.

Se poate renunța la aceste măsuri dacă armătura este amplasată în șanțuri lăsate la turnare în betonul elementului sau

Scanned with OKEN Scanner

în cazul armăturilor înfășurate pe corpul elementului (tuburi de presiune, rezervoare).

Se recomandă ca stratul de protecție să fie aplicat și să se întărească pe elementul solicitat de încărcarea normată de exploatare.

Ancorajele aplicate la suprafața betonului trebuie protejate după precomprimare prin acoperire sau înglobare în mortar sau beton.

4. Prescripții generale

Se vor prevedea prin proiect măsuri care să asigure transmiterea integrală asupra elementului de beton a efortului din armăturile pretensionate. În acest scop:

— reazemele elementului trebuie să permită scurtarea liberă la precomprimare;

— cofrajele și eșafodajele trebuie astfel realizate încît să nu împiedice scurtarea elementului la precomprimare;

— la elementele cu armătură postîntinsă, dispozitivele de pretensionare trebuie să reazeme pe betonul elementului.

La elementele la care forța de precomprimare nu se aplică centric, greutatea proprie trebuie să intre integral în lucru la terminarea precomprimării. În acest scop se va prevedea prin proiect realizarea unei rezemări netasabile la capetele elementului. Dacă această condiție nu poate să fie respectată, se va asigura posibilitatea unei descintrări treptate a elementului, pe măsura efectuării precomprimării.

Piesele prefabricate de beton precomprimat ale elementelor mixte se recomandă a fi utilizate drept cofraj portant. În cazul elementelor mixte la care greutatea proprie prezintă o fracțiune importantă a încărcării totale de exploatare, se recomandă să se prevadă o asemenea tehnologie de execuție încît, după decofrare, betonul nesupus precomprimării să participe la preluarea solicitărilor datorite greutății proprii.

Se va preciza prin proiect modul de ridicare și de rezemare a elementelor prefabricate la manipulare, depozitare, transport și montaj. Pentru ridicare se vor prevedea găuri în inima elementului sau, în mod excepțional, urechi din oțel-beton.

Scanned with OKEN Scanner

XIII

CALCULUL EFORTURILOR UNITARE DIN BETON ŞI ARMĂTURĂ

A. STABILIREA CARACTERISTICILOR GEOMETRICE ALE SECŢIUNII IDEALE

1. Principii generale

Eforturile unitare din secţiune se calculează după regulile rezistenţei materialelor ca pentru un material elastic şi omogen. Drept secţiune de calcul se consideră secţiunea ideală, compusă din secţiunea netă de beton şi secţiunile tuturor armăturilor, pretensionate şi nepretensionate — multiplicate cu raportul dintre modulul de elasticitate al armăturii respective şi acela al betonului (fig. XIII.1).

La stabilirea secţiunii ideale se poate neglija armătura nepretensionată în cazul în care aria acesteia reprezintă mai puţin decît 25% din aria armăturii pretensionate.

La elemente cu armătură postîntinsă dispusă în canale amenajate în interiorul secţiunii se recomandă să se efectueze calculul eforturilor unitare datorite atît acţiunii forţei de precomprimare la transfer cît şi a încărcărilor aplicate înainte de realizarea aderenţei ca pentru secţiuni omogene, scăzînd din secţiunea ideală golurile în care se introduce armătura pretensionată.

La elementele cu armătură postîntinsă dispusă în afara secţiunii, calculul eforturilor unitare, datorite acţiunii forţei

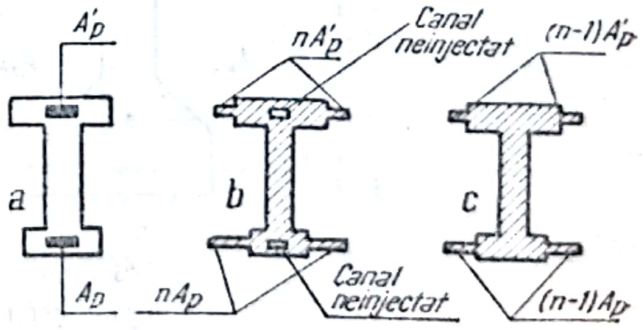


Fig. XIII.1.

Scanned with OKEN Scanner

de precomprimare la transfer și a încărcărilor aplicate înainte de realizarea aderenței, se efectuează considerînd elementele drept structuri interior static nedeterminate.

Dacă secțiunea este compusă din betoane de caracteristici diferite, pentru stabilirea secțiunii ideale porțiunile din betoane de diverse calități se reduc la o singură calitate, prin multiplicarea lățimilor porțiunilor respective cu raportul modulilor de elasticitate.

În calcule se neglijează mortarul de injectare deoarece, nefiind precomprimat, fisurează sub încărcare cu mult înainte ca în betonul adiacent al secțiunii să fie apărut eforturi unitare de întindere.

În cazul elementelor mixte trebuie ținut seamă de faptul că acțiunea precomprimării și a încărcărilor exterioare aplicate înainte de intrarea în lucru a betonului nesupus precomprimării se exercită numai asupra betonului precomprimat din secțiune, iar acțiunea încărcărilor exterioare aplicate ulterior se exercită asupra întregii secțiuni ideale.

2. Relații de calcul

Calculul caracteristicilor geometrice ale secțiunii ideale se recomandă a se sistematiza după modelul din tabela XIII.1 întocmit pentru cazul curent al secțiunii I (fig. XIII.2).

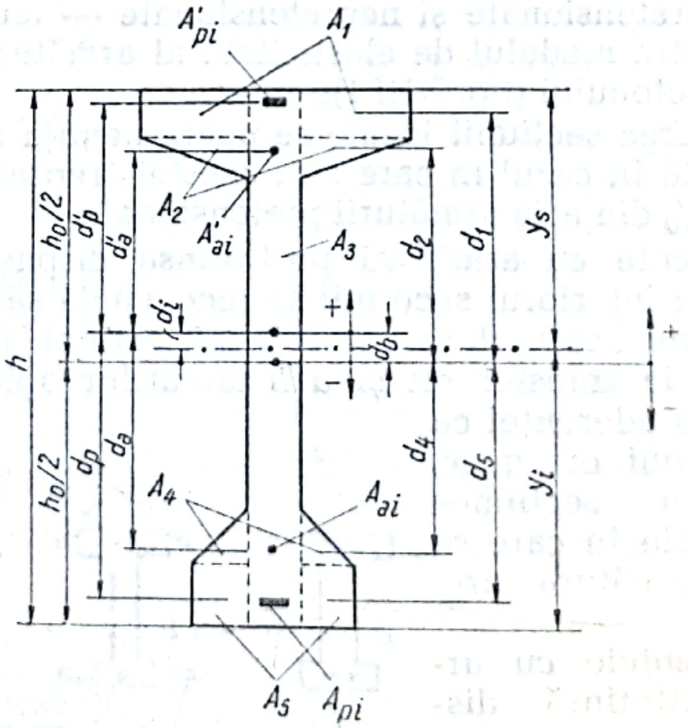


Fig. XIII.2.

Scanned with OKEN Scanner

Modul de ordonare a calculului caracteristicilor geometrice ale secțiunii ideale

Porțiunea din secțiune (fig. XIII. 2)	Aria porțiunii A	Distanța de la centrul de greutate al porțiunii A până la mijlocul înălțimii grinzii d	Momentul static al porțiunii A față de axa trecînd prin mijlocul înălțimii grinzii $S = Ad$	Distanța de la centrul de greutate al porțiunii A pînă la centrul de greutate al secțiunii $d - d_b$	Momentul de inerție al porțiunii A față de axa trecînd prin centrul de greutate al secțiunii $I = A\,(d-d_b)^2$	Momentul de inerție al porțiunii A față de propriul centru de greutate I_c
1. *Caracteristicile geometrice ale secțiunii brute de beton*						
Porțiunea dreptunghiulară în consolă a tălpii superioare	A_1	d_1	$A_1 d_1$	$d_1 - d_b$	$A_1 (d_1 - d_b)^2$	I_{c1}
Vutele tălpii superioare	A_2	d_2	$A_2 d_2$	$d_2 - d_b$	$A_2 (d_2 - d_b)^2$	I_{c2}
Inima	A_3	d_3	$A_3 d_3$	$d_3 - d_b$	$A_3 (d_3 - d_b)^2$	I_{c3}
Vutele tălpii inferioare	A_4	d_4	$A_4 d_4$	$d_4 - d_b$	$A_4 (d_4 - d_b)^2$	I_{c4}
Porțiunea dreptunghiulară în consolă a tălpii inferioare	A_5	d_5	$A_5 d_5$	$d_5 - d_b$	$A_5 (d_5 - d_b)^2$	I_{c5}
	$A_b = \Sigma A$		ΣS		ΣI	ΣI_c
	$d_b = \dfrac{\Sigma S}{\Sigma A}$					
	$I_b = \Sigma I + \Sigma I_c$					
2. *Armătura nepretensionată din secțiune*						
Secțiunea ideală a armăturii $A_{ai} = (n_a - 1)\,\Sigma A_a$						
Momentul static al armăturii față de centrul de greutate al secțiunii brute de beton $S_{ai} = (n_a - 1)\,\Sigma A_a d_a$						

Tabela XIII.1 (continuare)

3. *Armătura pretensionată din secțiune*

Tipul armăturii	Armătura preîntinsă	Armătura postîntinsă
Secțiunea ideală a armăturii A_{pi}	$(n_p - 1)\,\Sigma A_p$	$\Sigma\,(n_p A_p - A_g)$
Momentul static al armăturii S_{pi} față de centrul de greutate al secțiunii brute de beton	$(n_p - 1)\,\Sigma A_p d_p$	$\Sigma\,(n_p A_p - A_g)\,d_p$

4. *Caracteristicile geometrice ale secțiunii ideale*

Aria secțiunii ideale

$$A_i = A_b + A_{ai} + A_{pi}.$$

Distanțe de la centrul de greutate al secțiunii ideale pînă la centrul de greutate al secțiunii de beton

$$d_i = \frac{S_{ai} + S_{pi}}{A_i}.$$

Momentul de inerție al secțiunii ideale față de centrul ei de greutate

— armătură preîntinsă

$$I_i = I_b + (n_a - 1)\,\Sigma A_a d_a\,(d_a - d_i) + (n_p - 1)\,\Sigma A_p d_p\,(d_p - d_i);$$

— armătură postîntinsă

$$I_i = I_b + (n_a - 1)\,\Sigma A_a d_a\,(d_a - d_i) + \Sigma\,(n_p A_p - A_g)\,d_p\,(d_p - d_i);$$

$$W_0 = \frac{I_i}{y_i};$$

$$W_0' = \frac{I_i}{y_s}.$$

Observații: 1) Valorile d se introduc în relațiile de calcul cu semnele lor algebrice în conformitate cu convenția de semne din fig. XIII.2.

2) Relațiile de calcul pentru I_i rezultă după cum urmează:

$$I_i = I_b + A_b d_i^2 + (n_a - 1)\,\Sigma A_a\,(d_a - d_i)^2 + (n_p - 1)\,\Sigma A_p\,(d_p - d_i)^2$$

respectiv

$$I_i = I_b + [A_b + (n_a - 1)\,\Sigma A_a + (n_p - 1)\,\Sigma A_p] d_i^2 + (n_a - 1)\,\Sigma A_a d_a\,(d_a - 2d_i) + (n_p - 1)\,\Sigma A_p d_p\,(d_p - 2d_i)$$

dar

$$[A_b + (n_a - 1)\,\Sigma A_a + (n_p - 1)\,\Sigma A_p]\,d_i^2 = A_i d_i^2 = (S_{ai} + S_{pi})\,d_i = [(n_a - 1)\,\Sigma A_a d_a + (n_p - 1)\,\Sigma A_p d_p]\,d_i$$

și rezultă

$$I_i = I_b + (n_a - 1)\,\Sigma A_a d_a\,(d_a - d_i) + (n_p - 1)\,\Sigma A_p d_p\,(d_p - d_i).$$

Aceeași demonstrație se poate face și pentru cazul elementelor cu armătură postîntinsă.

Scanned with OKEN Scanner

În tabelă s-a notat

$$n_p = \frac{E_p}{E_b};$$

$$n_a = \frac{E_a}{E_b};$$

A_g — aria secțiunii canalelor în care se amplasează armătura A_p;

A'_g — aria secțiunii canalelor în care se amplasează armătura A'_p;

W_0 — modulul de rezistență al secțiunii ideale pentru marginea secțiunii întinsă în starea limită de rezistență în exploatare;

W'_0 — modulul de rezistență al secțiunii ideale pentru marginea secțiunii comprimată în starea limită de rezistență în exploatare.

În cazul unor secțiuni de alt tip, se va efectua împărțirea în suprafețe dreptunghiulare și triunghiulare, după aceleași principii, modificînd în consecință numărul liniilor din tabelă.

Modul de sistematizare a calculului indicat în tabela XIII.1 prezintă următoarele avantaje:

— sporește precizia de calcul, deoarece d_b și d_i se obțin cu valori mai exacte chiar din riglă, iar în calculul lui I_i nu intervine diferența a două mărimi de valori apropiate;

— se poate aprecia corect, din punct de vedere cantitativ, influența armăturilor din secțiune asupra caracteristicilor geometrice ale secțiunii ideale;

— dacă pentru o secțiune dată de beton devine necesară, în cursul calculelor, modificarea secțiunii sau poziției armăturilor, recalcularea caracteristicilor geometrice ale secțiunii ideale se face foarte simplu, deoarece caracteristicile geometrice ale secțiunii brute de beton rămîn neschimbate;

— în cazul în care caracteristicile geometrice ale secțiunii brute de beton se extrag din tabele, se pot stabili cu ajutorul lor, în mod direct, caracteristicile geometrice ale secțiunii ideale.

În calcul, armăturile din fiecare talpă se pot considera concentrate în centrul de greutate al întregii armături respective; în acest caz, se ține seamă și de momentul lor de inerție în raport cu centrul de greutate al întregii armături din talpa considerată.

În tabela XIII.1 s-a scăzut, în toate cazurile, aria secțiunii canalelor în care se amplasează armăturile postîntinse. Pentru

Scanned with OKEN Scanner

calculul la transfer înaintea injectării canalelor, această condiție corespunde situației reale. Pentru celelalte verificări trebuie ținut seamă de faptul că mortarul de injectare nu este precomprimat, el fisurînd deci sub încărcare cu mult înainte ca în betonul adiacent al secțiunii să fi apărut eforturi unitare de întindere. Deși fisurile formate sînt foarte fine, datorită aderenței dintre mortarul de injectare și betonul elementului, este indicat a se neglija, în mod acoperitor, influența mortarului de injectare la calculul la starea limită de apariție a fisurilor sau la starea limită de oboseală, precum și la calculul eforturilor unitare în faza finală.

În consecință, caracteristicile geometrice stabilite pentru transfer pot fi considerate valabile și pentru celelalte ipoteze de calcul.

În cazul armăturilor exterioare se ține seamă la calculul caracteristicilor geometrice ale secțiunii de mortarul sau betonul de protecție numai dacă se asigură, prin tehnologia de execuție adoptată, precomprimarea acestuia.

Deseori betonul are la transfer o rezistență mai redusă decît marca. Pentru a nu calcula de două ori caracteristicile geometrice ale secțiunii, este permis a accepta și pentru transfer valorile n_p și n_a stabilite pentru marca betonului, aproximația introdusă în acest mod fiind neglijabilă.

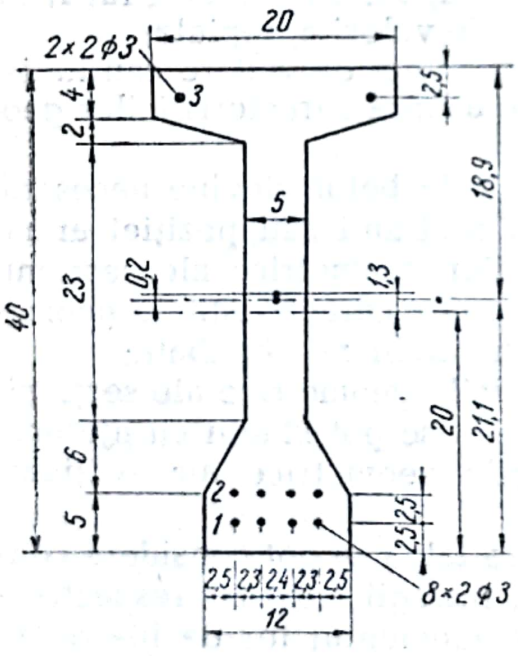


Fig. XIII.3.

3. Exemple de calcul

Exemplul XIII.1. Să se stabilească caracteristicile geometrice ale secțiunii unei grinzi din beton precomprimat cu armătură preîntinsă (fig. XIII.3), cu un beton de marcă B 400, armătură pretensionată SBP II, $n_p = \frac{1800\,000}{350\,000} = 5{,}15$, armătură pretensionată $2 \varnothing 3$ mm, $A_{p1} = 0{,}141$ cm^2; $A_{pi1} = (n_p - 1)\ A_{p1} = (5{,}15 - 1)0{,}141 = 0{,}585$ cm^2.

Calculul se sistematizează în tabela XIII.2.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XIII.2

Calculul caracteristicilor geometrice pentru secţiunea ideală a grinzii de beton precomprimat cu armătura preîntinsă din fig. XIII.3

1. *Caracteristicile geometrice ale secţiunii brute de beton*

Porţiunea din secţiune		A cm²	d cm	$S = Ad$ cm³	$d_p - d_i$ cm	$I = A(d - d_b)^2$ cm⁴	I_c cm⁴
A_1	$2 \times 7{,}5 \times 4$	60	18	1 080	16,7	16 730	$\frac{2}{12} 7{,}5 \times 4^3 = 80$
A_2	$2\frac{1}{2} 7{,}5 \times 2$	15	15,33	230	14,03	2 960	$\frac{2}{36} 7{,}5 \times 2^3 = 3$
A_3	5×40	200	0	0	— 1,3	338	$\frac{1}{12} 5 \times 40^3 = 26\,700$
A_4	$2\frac{1}{2} \times 3{,}5 \times 6$	21	—13	—273	—14,3	4 300	$\frac{2}{36} 3{,}5 \times 6^3 = 42$
A_5	$2 \times 3{,}5 \times 5$	35	—17,5	—612,5	—18,8	12 370	$\frac{2}{12} 3{,}5 \times 5^3 = 73$
		331		424,5		36 698	26 898

$$d_b = \frac{424{,}5}{331} = 1{,}283 \text{ cm} \approx 1{,}3 \text{ cm}$$

$$I_b = 36\,698 + 26\,898 = 63\,596 \text{ cm}^4$$

2. *Armătura pretensionată din secţiune*

Rîndul de armătură		A_{pi} cm²	d_p cm	$S_{pi} = A_{pi} d_p$ cm³	$d_p - d_i$	$S_{pi}(d_p - d_i)$ cm⁴
1	4×0,585	2,34	—18,8	—44,0	—19	836
2	4×0,585	2,34	—16,3	—38,2	—16,5	630
3	2×0,585	1,17	16,2	18,9	16	302
		5,85		— 63,3		1 768

$$A_i = 331 + 5{,}85 = 336{,}85 \text{ cm}^2;$$

$$d_i = -\frac{63{,}3}{336{,}85} = -0{,}188 \text{ cm} \approx -0{,}2 \text{ cm};$$

$$I_i = 63\,596 + 1\,768 = 65\,364 \text{ cm}^4;$$

$$W_0 = \frac{65\,364}{21{,}1} = 3\,100 \text{ cm}^3; \qquad W_0' = \frac{65\,364}{18{,}9} = 3\,460 \text{cm}^3$$

Scanned with OKEN Scanner

Exemplul XIII.2. Să se stabilească caracteristicile geometrice ale secțiunii unei grinzi din beton precomprimat cu armătură postîntinsă (fig. XIII.4), cu un beton de marcă B 500; armătura pretensionată SBP I; armătura nepretensionată OL 38;

$$n_p = \frac{1\,800\,000}{380\,000} = 4{,}75;\quad n_a = \frac{2\,100\,000}{380\,000} = 5{,}53.$$

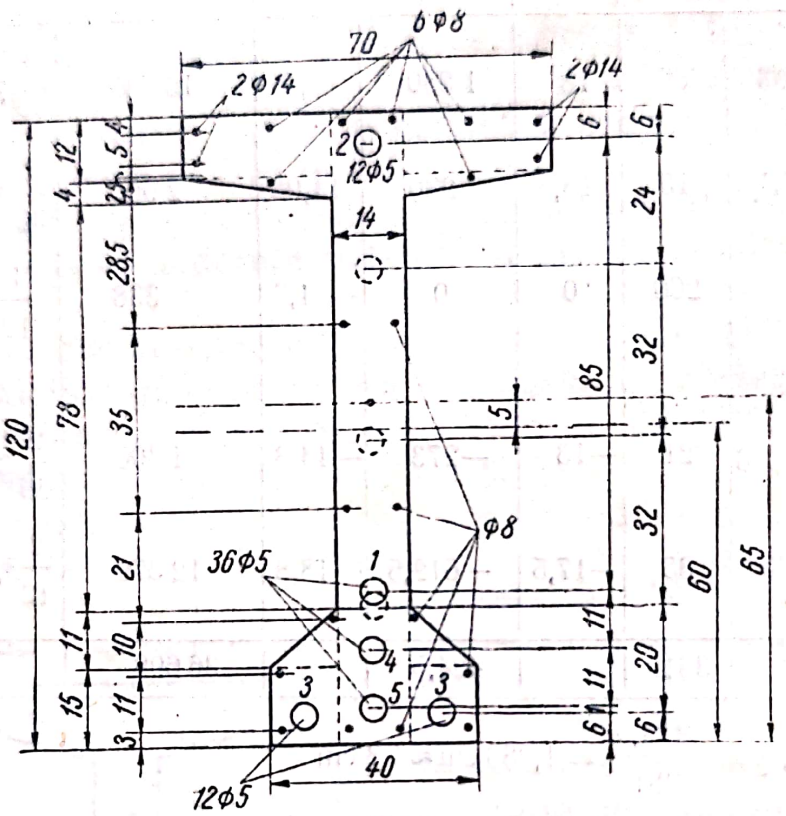


Fig. XIII.4.

$A_p = 28{,}2$ cm^2; $A_a = 15{,}16$ cm^2.

Deoarece armătura nepretensionată din secțiune reprezintă peste 25% din secțiunea armăturii pretensionate, nu se poate neglija în calculul caracteristicilor geometrice ale secțiunii.

Armătura pretensionată 12 ∅ 5 mm: $A_{p1} = 2{,}35$ cm^2; $A_{g1} = 7{,}07$ cm^2; $A_{pi1} = n_p A_{p1} - A_{g1} = 4{,}75 \times 2{,}35 - 7{,}07 = 4{,}1$ cm^2;

36 ∅ 5 mm: $A_{p2} = 7{,}05$ cm^2; $A_{g2} = 32{,}0$ cm^2; $A_{pi2} = n_p A_{p2} - A_{g2} = 4{,}75 \times 7{,}05 - 32{,}0 = 1{,}5$ cm^2.

Armătura nepretensionată ∅ 8 mm: $A_{a1} = 0{,}50$ cm^2; $A_{ai1} = (n-1)A_{a1} = (5{,}53-1)0{,}50 = 2{,}26$ cm^2;

∅ 14 mm: $A_{a2} = 1{,}54$ cm^2; $A_{ai2} = (n-1)A_{a2} = (5{,}53-1)1{,}54 = 6{,}97$ cm^2.

Calculul se sistematizează în tabela XIII.3.

Scanned with OKEN Scanner

Calculul caracteristicilor geometrice pentru secțiunea ideală a grinzii de beton precomprimat cu armătura postîntinsă din fig. XIII.4

1. *Caracteristicile geometrice ale secțiunii brute de beton*

	Porțiunea din secțiune	A dm²	d dm	$S=Ad$ dm³	$d-d_b$ dm	$I=A(d-d_b)^2$ dm⁴	I_c dm⁴
A_1	$2\times2,8\times1,2$	6,72	5,4	36,3	4,90	161,3	$\frac{2}{12}2,8\times12^3=$ 0,8
A_2	$2\cdot\frac{1}{2}\times2,8\times0,4$	1,12	4,67	5,23	4,17	19,5	$\frac{2}{36}2,8\times0,4^3\approx$ 0
A_3	$1,4\times12,0$	16,8	0	0	— 0,50	4,2	$\frac{1}{12}1,4\times12^3=201,5$
A_4	$2\frac{1}{2}\times1,3\times1,1$	1,43	—4,13	—5,91	— 4,63	30,7	$\frac{2}{36}1,3\times1,1^3=$ 0,1
A_5	$2\times1,3\times1,5$	3,9	—5,25	—20,5	— 5,75	128,9	$\frac{2}{12}1,3\times1,5^3=$ 0,7
		29,97		15,1		344,6	203,1

$$d_b=\frac{15,1}{29,97}=0,505 \text{ dm} \approx 0,5 \text{ dm}$$

$$I_b=344,6+203,1=547,7 \text{ dm}^4$$

2. *Armătura nepretensionată din secțiune*

Rîndul de armătură	A_{ai} dm²	d_a dm	$S_{ai}=A_{ai}d_a$ dm³	d_a-d_i dm	$S_{ai}(d_a-d_i)$ dm⁴
4Ø8+2Ø14	0,2298	5,1	1,17	5,1	6,0
2Ø14	0 1394	4,6	0,64	4,6	2,9
2Ø 8	0,0452	4,35	0,20	4,35	0,9
2Ø 8	0,0452	1,5	0,07	1,5	0,1
2Ø 8	0,0452	—2,0	—0,09	—2,0	0,2
2Ø 8	0,0452	—4,1	—0,19	—4,1	0,8
2Ø 8	0,0452	—5,1	—0,23	—5,1	1,2
4Ø 8	0,0904	—6,2	—0,56	—6,2	3,5
	0,6856		1,01		15,6

Scanned with OKEN Scanner

3. *Armătura pretensionată din secțiune*

Rîndul de armătură		A_{pi} dm²	d_p dm	$S_{pi}=A_{pi}\,d_p$ dm³	d_p-d_i dm	$S_{pi}(d_p-d_i)$ dm⁴
2	12∅5	0,041	4,9	0,20	4,9	1,0
1	36∅5	0,015	—3,6	—0,05	—3,6	0,2
4	36∅5	0,015	—4,7	—0,07	—4,7	0,3
5	36∅5	0,015	—5,8	—0,09	—5,8	0,5
3	2×12∅5	0,082	—5,9	—0,48	—5,9	2,8
		0,168		—0,49		4,8

$$A_i=29{,}97+0{,}6856+0{,}168=30{,}82\ \text{dm}^2$$

$$d_i=\frac{1{,}01-0{,}49}{30{,}82}=0{,}0168\approx 0$$

$$I_i=547{,}7+15{,}6+4{,}8=568{,}1\ \text{dm}^4$$

$$W_0=\frac{568{,}1}{6{,}5}=87{,}4\ \text{dm}^3$$

$$W_0'=\frac{568{,}1}{5{,}5}=103{,}3\ \text{dm}^3$$

4. *Secțiunea compusă numai din beton și armătura nepretensionată*

$$A_i'=29{,}97+0{,}6856=30{,}66\ \text{dm}^2$$

$$d_i'=\frac{1{,}01}{30{,}66}=0{,}03\approx 0$$

$$I_i'=547{,}7+15{,}3=563{,}5\ \text{dm}^4$$

5. *Armătura pretensionată din secțiunea către reazem*

Rîndul de armătură		A_{pi} dm²	d_p dm	$S_{pi}=A_p\,d_p$ dm³	d_p-d_i dm	$S_{pi}(d_p-d_i)$ dm⁴
2	12∅5	0,041	4,9	0,20	4,9	1,0
1	36∅5	0,015	2,5	0,04	2,5	0,1
4	36∅5	0,015	—0,7	—0,01	—0,7	0,0
5	36∅5	0,015	—3,9	—0,06	—3,9	0,2
3	2×12∅5	0,082	—5,9	—0,48	—5,9	2,8
		0,168		—0,31		4,1

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XIII.3 (continuare)

$$A_i = 30{,}66 + 0{,}168 = 30{,}82 \text{ dm}^2;$$

$$d_i = -\frac{0{,}33}{30{,}82} = -0{,}01 \approx 0;$$

$$I_i = 563{,}3 + 4{,}1 = 567{,}4 \text{ dm}^4;$$

$$W_0 = \frac{567{,}4}{6{,}5} = 87{,}3 \text{ dm}^3;$$

$$W_0' = \frac{567{,}4}{5{,}5} = 103 \text{ dm}^3.$$

În fig. XIII.4 s-a reprezentat secțiunea grinzii în mijlocul deschiderii. Către reazem se ridică o parte a armăturii postîntinse din talpa inferioară.

În acest caz, în care variază numai poziția și numărul armăturilor pretensionate, pentru calculul caracteristicilor secțiunii ideale este mai comod să se stabilească mai întîi caracteristicile secțiunii compuse numai din beton și armătura nepretensionată și apoi, pentru fiecare secțiune în parte, în lungul elementului, să se adauge efectul armăturii pretensionate.

Pentru pozițiile extreme ale armăturilor indicate în secțiune, figurate punctat în fig. XIII.4, s-a sistematizat calculul în tabela XIII.3, pct. 5. După cum se vede, nu se obțin practic diferențe față de cazul anterior.

În consecință, pentru calculele practice se poate admite, în majoritatea cazurilor, stabilirea caracteristicilor geometrice numai în secțiunea de moment maxim a fiecărei porțiuni de secțiune constantă a elementului, neglijînd influența variației poziței armăturilor postîntinse pe înălțime, în lungul fiecărei porțiuni în parte.

Pentru calculul eforturilor unitare la transfer, ar trebui să se țină seamă de faptul că la pretensionarea fiecărui fascicul lipsesc din secțiune fasciculele care urmează să fie întinse ulterior, stabilind în consecință, de fiecare dată, caracteristicile geometrice corespunzătoare ale secțiunii. Pentru a nu com-

Scanned with OKEN Scanner

plica calculele, este în general admisibil să se utilizeze în toate cazurile caracteristicile geometrice ale secțiunii, stabilite în ipoteza pretensionării concomitente a tuturor fasciculelor.

B. CONDIȚII GENERALE PENTRU STABILIREA EFORTULUI UNITAR DE CALCUL ÎN FAZA INIȚIALĂ

Efortul unitar de calcul în faza inițială trebuie astfel ales încît să respecte în toate punctele, în lungul armăturii, următoarele condiții:

— pentru armături la care rezistența normată este egală cu rezistența la tracțiune (de exemplu sîrma SBP)

$$\sigma_0 \leqslant 0{,}7\, R_p^n, \tag{XIII.1}$$

$$\sigma_0' \leqslant 0{,}7\, R_p^n; \tag{XIII.2}$$

— pentru armături la care rezistența normată este egală cu limita de curgere

$$\sigma_0 \leqslant 0\,9\, R_p^n, \tag{XIII.3}$$

$$\sigma_0' \leqslant 0{,}9\, R_p^n. \tag{XIII.4}$$

În cazul sîrmei SBP înfășurate sub tensiune pe tuburi de presiune se admite

$$\sigma_0 \leqslant 0{,}75\, R_p^n. \tag{XIII.5}$$

Forța de precomprimare în faza inițială este egală cu rezultanta eforturilor de calcul din armăturile pretensionate (fig. XIII.5)

$$N_0 = A_p\sigma_0 + A_p'\sigma'. \tag{XIII.6}$$

Excentricitatea forței de precomprimare față de centrul de greutate al secțiunii ideale se stabilește cu relația

$$e_0 = \frac{A_p\sigma_0 y_p - A_p'\sigma_0' y_p'}{N_0} \tag{XIII.7}$$

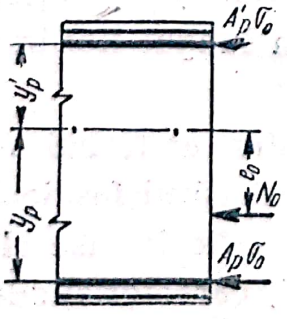


Fig. XIII.5.

unde y_p respectiv y_p' reprezintă distanțele de la armătura A_p, respectiv A_p', pînă la centrul de greutate al secțiunii ideale (v. fig. XIII.5).

În cazul dispunerii armăturilor pretensionate după trasee curbe sau poligonale, valorile eforturilor de calcul din armături se în-

mulțesc cu $\cos\alpha$ respectiv $\cos\alpha'$, unde α și α' reprezintă unghiurile de înclinare a armăturilor pretensionate față de axa longitudinală a elementului, în secțiunea considerată.

C. STABILIREA EFORTULUI UNITAR DE CONTROL ȘI A EFORTULUI UNITAR DE CALCUL ÎN FAZA INIȚIALĂ PENTRU ARMĂTURI PREÎNTINSE

1. Relații generale de calcul

În cazul armăturilor preîntinse, valoarea efortului unitar de control rezultă din relația

$$\sigma_k = \sigma_0 + \Delta\sigma_\lambda + \Delta\sigma_t \qquad \text{(XIII.8)}$$

și trebuie să respecte condiția

$$\sigma_k \leqslant R_p. \qquad \text{(XIII.9)}$$

Pierderile de tensiune în cursul precomprimării, specifice armăturii preîntinse, se calculează după cum se va arăta mai departe.

Pentru calculele curente se alege pentru σ_0 valoarea maximă admisă în conformitate cu condițiile (XIII.1)—(XIII.4) și se verifică valoarea σ_k cu relația (XIII.8).

În cazul în care rezultă

$$\sigma_k > R_p,$$

este necesar a se alege pentru σ_k valoarea maximă admisă în conformitate cu condiția (XIII.9) și rezultă valoarea σ_0

$$\sigma_0 = \sigma_k - (\Delta\sigma_\lambda + \Delta\sigma_t). \qquad \text{(XIII.10)}$$

2. Pierderea de tensiune datorită lunecărilor și deformațiilor locale în ancoraje la blocarea armăturii după pretensionare

Valoarea acestor pierderi de tensiune depinde de sistemul de pretensionare și de tipul de ancoraj adoptat.

În general, valoarea pierderii de tensiune se calculează cu relația

$$\Delta\sigma_\lambda = \frac{\lambda}{l} E_p \qquad \text{(XIII.11)}$$

în care: λ este lunecarea sau deformația locală, la blocare, în capătul armăturii la care se face întinderea;

Scanned with OKEN Scanner

l este lungimea efectivă dintre punctele de blocare a armăturii.

Pentru λ se pot adopta valorile:

$\lambda = 10$ mm, în cazul utilizării unei instalații de pretensionare cu contragreutăți (tip STASA), cu blocaje metalice prevăzute cu pene netede;

$\lambda = 0$, în cazul utilizării unei instalații de pretensionare la care întinderea armăturilor se face după fixarea lor în blocaje, iar blocarea se face cu tijă și piuliță.

3. Pierderea de tensiune $\Delta\sigma_t$ datorită efectului tratamentului termic al betonului

Valoarea pierderii de tensiune din armătura preîntinsă, ca efect al tratamentului termic utilizat pentru accelerarea întăririi betonului, se calculează cu relația

$$\Delta\sigma_t = v\Delta t \qquad \text{(XIII.12)}$$

în care: $v = 0$, în cazul execuției în tipare metalice care preiau efortul din armătura preîntinsă, cu condiția ca tiparul să suporte aceeași variație de temperatură ca și betonul;

$v = 20$, în toate celelalte cazuri (execuție pe stand etc.);

Δt este variația de temperatură a betonului datorită tratamentului termic, în °C.

Valoarea $\Delta\sigma_t$ depinde de natura cimentului folosit, de tehnologia adoptată pentru tratamentul termic și de temperatura mediului ambiant.

În cazul folosirii cimentului RIM, se poate admite în calcule

$\Delta\sigma_t \approx$ 800 kgf/cm², pentru aburire;

$\Delta\sigma_t \approx 1\,200$ kgf/cm², pentru încălzirea în tipare etanșe.

4. Calculul eforturilor unitare din beton și armătură în faza inițială

Eforturile unitare care apar în secțiune sub acțiunea forței de precomprimare se calculează astfel:

— într-o fibră oarecare de beton, la distanța y de centrul de greutate al secțiunii ideale

$$\sigma_b = \frac{N_0}{A_i} \pm \frac{N_0 e_0 y}{I_i}; \qquad \text{(XIII.13)}$$

Scanned with OKEN Scanner

— în armăturile pretensionate

$$\sigma_p = \sigma_0 - n_p \sigma_{bp} \qquad \text{(XIII.14)}$$

unde σ_{bp} reprezintă efortul unitar din fibra de beton de la nivelul armăturii pretensionate considerate, iar

$$n_p = \frac{E_p}{E_b};$$

5. Exemplu de calcul

Exemplul XIII.3. Să se stabilească efortul unitar de calcul și efortul unitar de control din armăturile pretensionate, precum și eforturile unitare care apar în secțiune sub acțiunea forței de precomprimare la transfer, în grinda cu armătura preîntinsă din exemplul XIII.1 (v. fig. XIII.3).

Grinda se realizează pe un stand de 70 m lungime, avînd armătura întinsă cu contragreutăți și se execută cu ciment RIM, prin încălzire în cofraje etanșe.

Armătura se execută din SBP II ∅ 3 mm, deci $R_p^n = 16\,000$ kgf/cm², iar $R_p = 12\,800$ kgf/cm².

$$\sigma_0 = 0{,}7\, R_p^n = 0{,}7 \times 16\,000 = 11\,200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_\lambda = \frac{\lambda}{l} E_p = \frac{1}{7\,000} 1\,800\,000 = 257 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_t \approx 1\,200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_k = \sigma_0 + \Delta\sigma_\lambda + \Delta\sigma_t \approx 11\,200 + 257 + 1\,200 =$$
$$= 12\,657 \text{ kgf/cm}^2 < R_p = 12\,800 \text{ kgf/cm}^2$$

$$N_0 = \Sigma A_p \sigma_0 + \Sigma A'_p \sigma'_0 = 10 \times 0{,}141 \times 11\,200 = 15\,800 \text{ kgf}$$

$$e_0 = \frac{\Sigma A_p \sigma_0 y_p - \Sigma A'_p \sigma'_0 y'_p}{N_0} =$$

$$= \frac{4 \times 0{,}141 \times 11\,200 \times 18{,}6 + 4 \times 0{,}141 \times 11\,200 \times 16{,}1 - 2 \times 0{,}141 \times 11\,200 \times 16{,}4}{15\,800} =$$

$$= 10{,}6 \text{ cm}$$

$$N_0 e_0 = 167\,500 \text{ kgfcm.}$$

Se calculează efortul unitar în fibrele de beton de la marginile secțiunii și din dreptul armăturilor

$$A_i = 336{,}85 \text{ cm}^2;\ I_i = 65\,364 \text{ cm}^4;$$

$$\sigma_{bi} = \frac{15\,800}{336{,}85} + \frac{167\,500 \times 21{,}1}{65\,364} = 47 + 54{,}1 = 101{,}1 \text{ kgf/cm}^2;$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\sigma_{bp1} = \frac{15\,800}{336{,}85} + \frac{167\,500 \times 18{,}6}{65\,364} = 47 + 47{,}7 = 94{,}7 \text{ kgf/cm}^2;$$

$$\sigma_{bp2} = \frac{15\,800}{336{,}85} + \frac{167\,500 \times 16{,}1}{65\,364} = 47 + 41{,}3 = 88{,}3 \text{ kgf/cm}^2;$$

$$\sigma_{bp3} = \frac{15\,800}{336{,}85} - \frac{167\,500 \times 16{,}4}{65\,364} = 47 - 42 = 5{,}0 \text{ kgf/cm}^2;$$

$$\sigma_{bs} = \frac{15\,800}{336{,}85} - \frac{167\,500 \times 18{,}9}{65\,364} = 47 - 48{,}5 = -1{,}5 \text{ kgf/cm}^2$$

Se calculează eforturile unitare din armăturile pretensionate

$$\sigma_{p1} = 11\,200 - 5{,}15 \times 94{,}7 = 11\,200 - 488 = 10\,712 \text{ kgf/cm}^2;$$

$$\sigma_{p2} = 11\,200 - 5{,}15 \times 88{,}3 = 11\,200 - 455 = 10\,745 \text{ kgf/cm}^2;$$

$$\sigma_{p3} = 11\,200 - 5{,}15 \times 5{,}0 = 11\,200 - 26 = 11\,174 \text{ kgf/cm}^2.$$

D. STABILIREA EFORTULUI UNITAR DE CONTROL ŞI A EFORTULUI UNITAR DE CALCUL ÎN FAZA INIŢIALĂ PENTRU ARMĂTURI POSTÎNTINSE

1. Relaţii generale de calcul

În cazul armăturilor postîntinse valoarea efortului unitar de control rezultă din relaţiile

$$\sigma_k = (\sigma_0 - n_p \sigma_{bp}) + \Delta\sigma_f + \Delta\sigma_\lambda + \Delta\sigma_s, \qquad \text{(XIII.15)}$$

$$\sigma'_k = (\sigma'_0 - n_p \sigma'_{bp}) + \Delta\sigma'_f + \Delta\sigma'_\lambda + \Delta\sigma'_s \qquad \text{(XIII.16)}$$

şi trebuie să respecte condiţia

$$\sigma_k \leqslant R_p \text{ respectiv } \sigma'_k \leqslant R_p. \qquad \text{(XIII.17)}$$

În aceste relaţii $\Delta\sigma_f$ respectiv $\Delta\sigma'_f$ reprezintă pierderea de tensiune datorită frecărilor pe traseu, pe lungimea de la capătul de la care se exercită întinderea pînă la punctul în care σ_0, respectiv σ'_0, are valoarea maximă după transfer.

Scanned with OKEN Scanner

Pierderile de tensiune în cursul precomprimării, specifice armăturii postîntinse, se calculează după cum se va arăta mai departe.

2. Efectul întinderii succesive a armăturilor postîntinse

Calculul variației (scăderea sau sporirea) efortului unitar din armăturile postîntinse, datorită deformării elastice a betonului, în urma întinderii ulterioare a altor armături, se poate face cu relația

$$\Delta\sigma_s^j = n_p \sigma_{bp}^{j+1,n} \qquad \text{(XIII.18)}$$

în care $\sigma_{bp}^{j+1,n}$ este efortul unitar din beton, în secțiunea considerată, la nivelul armăturii j, în urma întinderii ulterioare a celorlalte armături, de la $j+1$ la n.

Pentru compensarea efectului întinderii succesive a armăturilor se sporește, la pretensionare, efortul unitar din armătura postîntinsă cu valoarea $\Delta\sigma_s^j$, respectiv

$$\sigma_p^j = (\sigma_0^j - n_p\sigma_{bp}) + \Delta\sigma_s^j = \sigma_0^j - n_p\sigma_{bp}^{0,j} \qquad \text{(XIII.19)}$$

în care: σ_p^j este efortul unitar din fasciculul j, după blocare, ținînd seamă deci de valoarea efortului unitar de control la pretensionare, de efectul lunecărilor și strivirilor locale în ancoraje la blocare și de pierderile de tensiune datorită frecărilor pe traseul fasciculului, pînă în punctul în care se efectuează calculul;

$\sigma_0^j \leqslant 0{,}7R_p''$ — efortul unitar de calcul din fasciculul j după terminarea operației de pretensionare a tuturor armăturilor pretensionate din secțiuni;

$\sigma_{bp}^{0,j}$ — efortul unitar care apare în fibra de beton de la nivelul armăturii j considerate, în urma întinderii tuturor armăturilor, pînă la armătura j inclusiv.

Compensarea se efectuează de regulă în punctul de pe traseul armăturii în care valoarea efortului unitar de calcul σ_0 este maximă.

În cazul în care greutatea proprie a elementului sau alte încărcări permanente intră în acțiune înaintea întinderii tuturor armăturilor, este necesar să se țină seamă de efectul lor.

În acest scop, la calculul valorii $\sigma_{bp}^{0,j}$ din relația (XIII.19), pentru fasciculele care se pretensionează după intrarea inte-

Scanned with OKEN Scanner

grală în acțiune a greutății proprii sau a altor încărcări permanente, se va ține seamă și de efectul acestor încărcări.

Efectul greutății proprii sau a altor încărcări permanente, în calculul valorii σ_p^I se va lua în considerație numai dacă se asigură, prin mijloace constructive adecvate și prin măsuri tehnologice obligatorii, intrarea integrală în acțiune a acestor încărcări.

Calculul valorii σ_p trebuie făcut separat pe fiecare cablu sau grup de cabluri.

Trebuie acordată o deosebită importanță acestui calcul la construcții sau elemente de construcție de deschidere mare și cu greutate permanentă importantă, la care precomprimarea se efectuează în etape, încărcarea permanentă fiind diferită în diversele etape.

3. Pierderile de tensiune $\Delta\sigma_f$ și $\Delta\sigma_\lambda$ datorită frecărilor pe traseu precum și lunecărilor și deformațiilor locale în ancoraje la blocare

a. *Relații de calcul*

Pierderea de tensiune în armăturile postîntinse datorită frecărilor pe traseu este determinată de următorii factori principali:

— condițiile de execuție, respectiv modul de alcătuire a tecii sau canalului, diferența dintre diametrul canalului și diametrul armăturii, șerpuirea traseului real al armăturii în jurul traseului prevăzut prin proiect, eventualele reduceri ale secțiunii canalului prin turtire la turnarea betonului etc.;

— unghiul de deviație a armăturii, în porțiunile curbe.

Pierderea de tensiune într-un punct situat la distanța s (în metri) de capătul de la care se execută întinderea (fig. XIII.6, *a*) se calculează cu relația

$$\Delta\sigma_f = \left[1 - e^{-\left(ks + \mu\Sigma\frac{L_r}{r}\right)}\right]_{\sigma_k} = \left(1 - e^{-A}\right)_{\sigma_k} \qquad \text{(XIII.20)}$$

în care: σ_k este efortul unitar de control;

s — lungimea desfășurată a armăturii măsurată de la capătul de la care se execută întinderea pînă la punctul considerat, în m;

Scanned with OKEN Scanner

L_r este lungimea fiecărei porțiuni curbe a traseului armăturii cuprinse în lungimea s, în m;
r — raza de curbură corespunzătoare, în m;
k — coeficientul de frecare pe metru de armătură;
μ — coeficientul de frecare în porțiunile curbilinii.

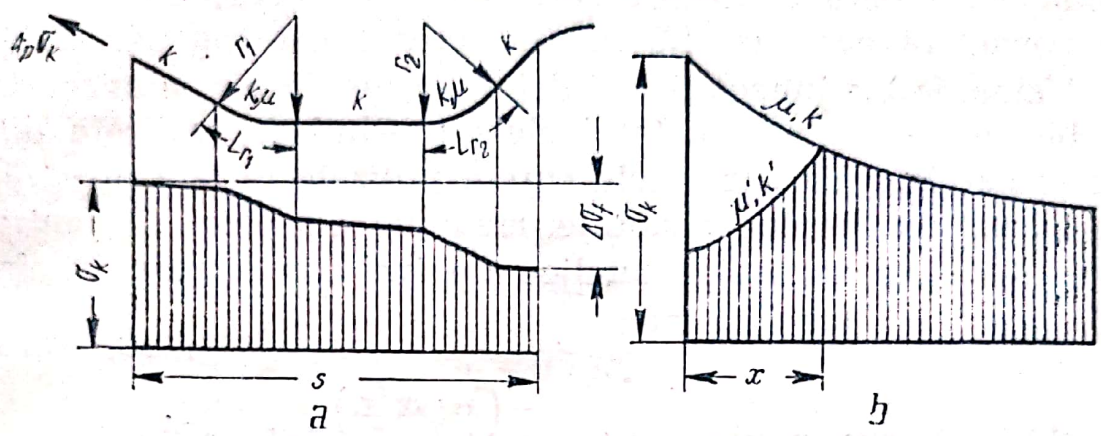


Fig. XIII.6.

Valorile de calcul pentru coeficienții de frecare μ și k în cazul armăturilor postîntinse realizate sub formă de fascicule din sîrme paralele ∅ 5 mm sînt date în tabela XIII.4.

Tabela XIII.4

Valorile coeficienților de frecare pentru armături postîntinse sub formă de fascicule din sîrme paralele ∅ 5 mm

Modul de realizare a canalului	μ	k/metru		
		Fascicule cu sîrme dispuse circular pe un singur rînd		Fascicule cu sîrme dispuse circular pe două rînduri concentrice
		Diametrul interior al canalului		
		⩽ 30 mm	⩾ 40 mm	
Teacă din tablă	0,35	0,010	0,006	0,004
Teacă din PCV	0,35	0,006	0,004	0,004
Canal format cu ajutorul unor țevi care se extrag din betonul neîntărit	0,50	Nu se folosește	0,004	0,002

Scanned with OKEN Scanner

Pentru alte tipuri de armături postîntinse sau alte moduri de realizare a canalului, coeficienții de frecare urmează a se determina pe cale experimentală.

În cazul reducerii alungirii armăturii ca urmare a lunecărilor și deformațiilor locale în ancoraje la blocare sau în urma scăderii efortului unitar de control σ_k (după o sporire temporară), coeficienții de frecare corespunzători, notați cu μ' și k', se consideră egali cu 1,3 μ, respectiv 1,3 k (fig. XIII.6, *b*).

Valoarea λ a lunecărilor și deformațiilor locale în ancoraje la blocare este pentru fasciculele postîntinse realizate din sîrme paralele, cu ancorajele curent utilizate în țara noastră:

$\lambda = 0{,}3$ cm, pentru ancoraje metalice cu pene și pentru ancoraje metalice tip inel-con simplu, la sîrme $\varnothing$ 5 mm;

Tabela XIII.5

Valorile expresiei $1 - e^{-\left(ks+\mu\Sigma\frac{L_r}{r}\right)} = 1 - e^{-A}$

A	$1-e^{-A}$	A	$1-e^{-A}$	A	$1-e^{-A}$	A	$1-e^{-A}$
0	0,000	0,25	0,221	0,50	0,393	0,75	0,528
0,01	0,010	0,26	0,229	0,51	0,399	0,76	0,532
0,02	0,020	0,27	0,237	0,52	0,405	0,77	0,537
0,03	0,030	0,28	0,244	0,53	0,411	0,78	0,542
0,04	0,039	0,29	0,252	0,54	0,417	0,79	0,541
0,05	0,049	0,30	0,259	0,55	0,423	0,80	0,551
0,06	0,058	0,31	0,267	0,56	0,429	0,81	0,555
0,07	0,068	0,32	0,274	0 57	0,434	0,82	0,560
0,08	0,077	0,33	0.281	0,58	0,440	0,83	0,564
0,09	0,086	0,34	0,288	0,59	0,446	0,84	0,568
0,10	0,095	0,35	0.295	0 60	0,451	0,85	0,573
0,11	0,104	0,36	0,302	0,61	0,457	0,86	0,577
0,12	0,113	0,37	0,309	0,62	0,462	0,87	0,581
0,13	0,122	0,38	0,316	0,63	0,467	0,88	0,585
0,14	0,131	0,39	0,323	0,64	0,473	0,89	0,589
0,15	0,139	0,40	0 330	0,65	0,478	0,90	0,593
0,16	0,148	0,41	0,336	0,66	0,483	0,91	0,597
0,17	0,156	0,42	0,343	0,67	0,488	0,92	0,601
0,18	0,165	0,43	0 350	0,68	0,493	0,93	0,605
0,19	0,173	0,44	0,356	0,69	0,498	0,94	0,609
0,20	0,181	0,45	0,362	0,70	0,503	0,95	0 613
0,21	0,189	0,46	0,369	0,71	0,508	0,96	0,617
0,22	0,197	0,47	0,375	0,72	0,513	0,97	0,621
0,23	0,205	0,48	0,381	0,73	0,518	0,98	0,625
0,24	0,213	0,49	0,387	0,74	0,523	0,99	0,628
						1,00	0,632

Scanned with OKEN Scanner

$\lambda = 0{,}5$ cm, pentru ancoraje cu conuri din beton și pentru ancoraje metalice inel-con dublu, tip INCERC-100, la fasciculele din sîrme paralele $\varnothing$ 5 mm, precum și pentru ancoraje tip inel-con simplu la fasciculele din sîrme paralele $\varnothing$ 7 mm.

Calculul cu relația (XIII.20) al pierderilor de tensiune ca urmare a frecărilor pe traseu, se face cu ușurință cu ajutorul tabelei XIII.5, în care se dau valorile $(1-e^{-A})$ pentru

$$A = ks + \mu\Sigma\frac{L_r}{r} \text{ variind între 0,01 și 1,0.}$$

Calculul pierderilor de tensiune în zona de capăt datorită scăderii efortului unitar de control se reduce la determinarea efortului unitar maxim de control astfel încît să se respecte condiția

$$\sigma_0 \leqslant 0{,}7\,R_p^n.$$

Admițînd că fasciculul are o porțiune curbă de lungime l_2 cuprinsă între două porțiuni rectilinii de lungimi l_1 și l_3, se pot distinge patru cazuri reprezentate în fig. XIII.7.

Considerînd cazul cel mai rațional de pretensionare $\sigma_k = 0{,}8R_p^n$; $\sigma_p = 0{,}7R_p^n - n_p\sigma_{bp}$, în punctul în care σ_p are valoare maximă după scăderea efortului unitar de control, admițînd $n\sigma_{bp} \approx 0{,}05R_p^n$, respectiv $\sigma_p \approx 0{,}65\ R_p^n$ și notînd:

$\alpha_1 = k$ — caracteristica de frecare pentru porțiunile l_1 și l_3; $\alpha_2 = k + \frac{\mu}{r}$ — caracteristica de frecare pentru porțiunea l_2, rezultă pentru diversele cazuri din fig. XIII.7 următoarele relații de calcul:

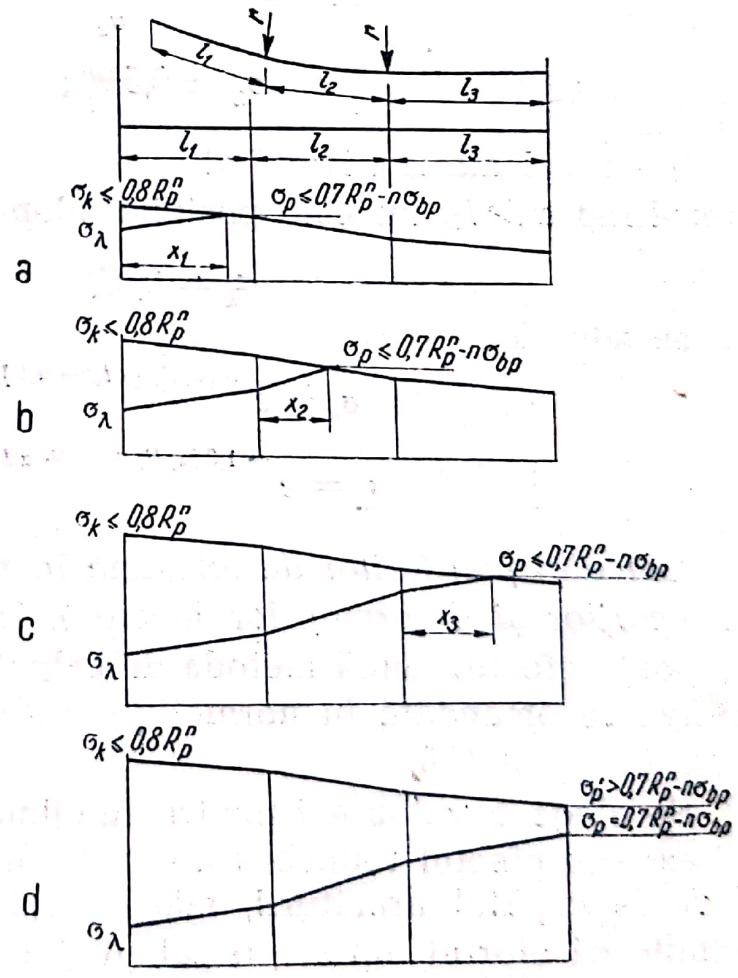


Fig. XIII.7.

— cazul din fig XIII.7, *a*

$$x_1 = \frac{0{,}208}{\alpha_1} \leqslant l_1 \qquad \text{(XIII.21)}$$

$$\sigma_\lambda \approx 0{,}5\, R_p^n; \qquad \text{(XIII.22)}$$

ţinînd seama de valorile coeficientului k (din tabela XIII.4) rezultă, în funcţie de tipul de fascicul şi de canalul utilizat

$$x_1 = 20...100 \text{ m};$$

— cazul din fig. XIII.7, *b*

$$x_2 = \frac{0{,}208 - \alpha_1 l_1}{\alpha_2} \leqslant l_2 \qquad \text{(XIII.23)}$$

$$\sigma_\lambda \approx 0{,}5 R_p^n; \qquad \text{(XIII.24)}$$

— cazul din fig. XIII.7, *c*

$$x_3 = \frac{0{,}208 - (\alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2)}{\alpha_3} \leqslant l_3 \qquad \text{(XIII.25)}$$

$$\sigma_\lambda \approx 0{,}5 R_p^n; \qquad \text{(XIII.26)}$$

— cazul din fig. XIII.7, *d*

rezultînd $x_3 > l_3$, nu este posibilă adoptarea unei valori

$$\sigma_k = 0{,}8 R_p^n$$

şi se adoptă

$$\sigma_k = e^{+[\alpha_1 (l_1 + l_3) + \alpha_2 l_2]} \sigma_p \qquad \text{(XIII.27)}$$

$$\sigma_\lambda = e^{-1{,}3[\alpha_1 (l_1 + l_3) + \alpha_2 l_2]} \sigma_p. \qquad \text{(XIII.28)}$$

Calculul pierderilor de tensiune în zona de capăt, datorită lunecărilor şi deformaţiilor locale λ *în ancoraje la blocare,* se poate efectua după metoda de calcul prin aproximaţii succesive recomandată în normativul P.8-62 conform cu schema dată în fig. XIII.8.

Se alege o valoare l pentru lungimea de fascicul pe care se extinde efectul reducerii alungirii armăturii, λ. La distanţa l de la capătul armăturii, măsurată în lungul traseului, se admite că efortul unitar de calcul din armătură este egal cu valoarea maximă permisă.

Scanned with OKEN Scanner

Efortul unitar din fascicul, în acest punct, la pretensionare, ținînd seama și de sporul necesar pentru compensarea efectului întinderii succesive a armăturilor, în conformitate cu relația (XIII.19) are valoarea

$$\sigma_p^i = (0{,}7\,R_p^n - n_p\sigma_{bp}) + \Delta\sigma_s^i = 0{,}7\,R_p^n - n_p\sigma_{bp}^{0,i}. \qquad \text{(XIII.29)}$$

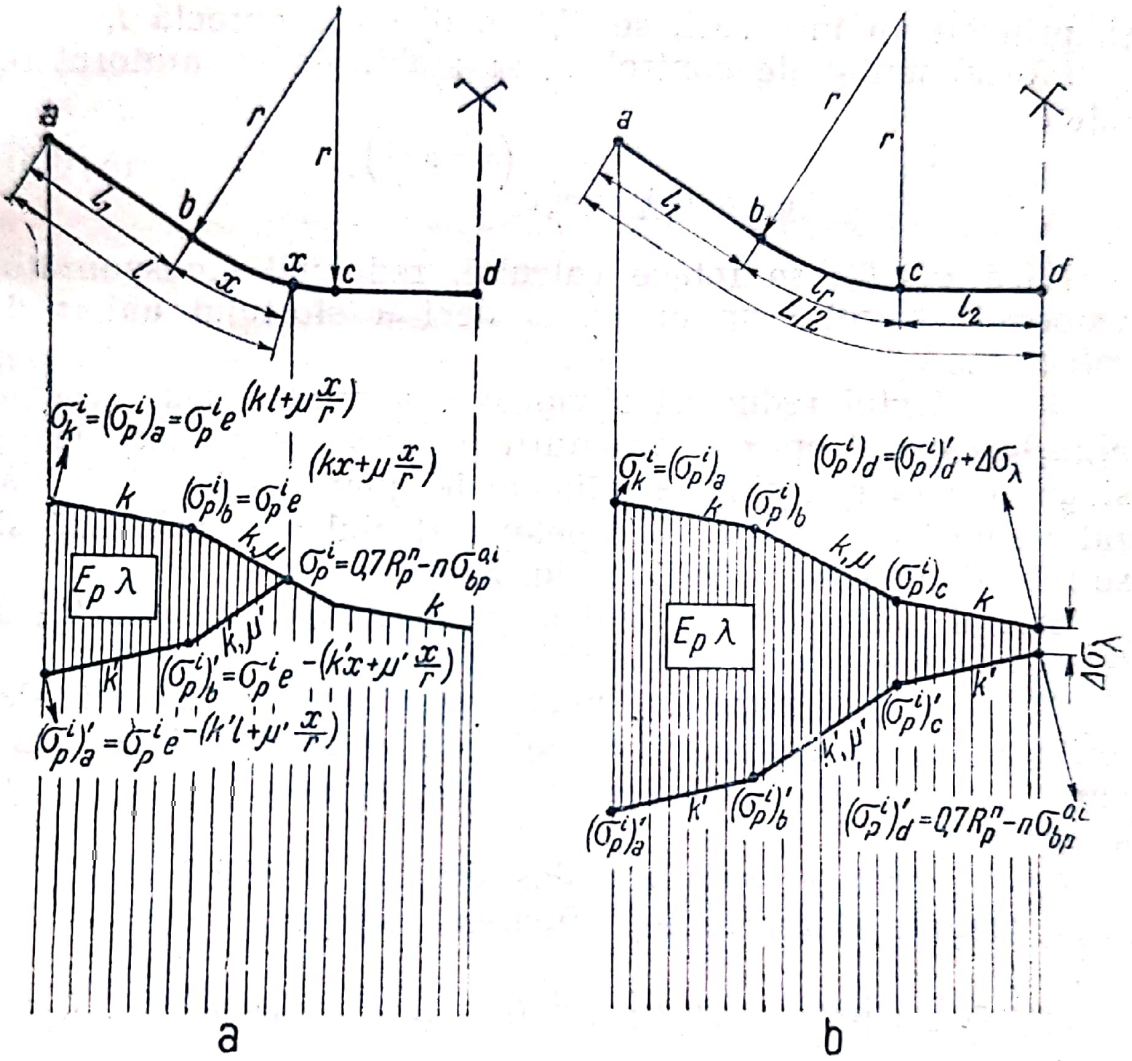


Fig. XIII.8.

Pe această bază se stabilește, cu ajutorul tabelei XIII.5 efortul unitar la pretensionare din armătură, în diferite puncte, ținînd seamă de faptul că

$$e^{-A} = 1 - (1 - e^{-A});$$

$$e^{A} = \frac{1}{e^{-A}}.$$

Expresia A se calculează cu valorile coeficienților de frecare μ și k, respectiv μ' și k'.

Aria suprafeței haşurate des în fig. XIII.8, *a*, împărțită la E_p, trebuie să reprezinte valoarea λ, respectiv

$$\frac{1}{2E_p}\{[(\sigma_p^i)_b - (\sigma_p^i)'_b]l + [(\sigma_p^i)_a - (\sigma_p^i)'_a]l_1\} = \lambda \quad \text{(XIII.30)}$$

și, prin cîteva încercări, se obține distanța corectă l.

Efortul unitar de control σ_k se stabilește cu ajutorul relației

$$\sigma_k = (\sigma_p^i)_a = \sigma_p^i e^{\left(kl + \mu\frac{x}{r}\right)}. \quad \text{(XIII.31)}$$

Dacă $\sigma_k > R_p$, se reface calculul, reducînd corespunzător valoarea efortului unitar σ_p^i și deci a efortului unitar de calcul σ_0.

Dacă efectul reducerii alungirii λ a armăturii se resimte pînă la capătul opus al armăturii (în cazul tragerii de la un singur capăt) sau pînă la mijlocul lungimii armăturii (în cazul tragerii de la ambele capete), calculul se recomandă să se facă după schema dată în fig. XIII.8, *b*.

Efortul unitar din fascicul la pretensionare, în punctul *d*, $(\sigma_p^i)_d$, se stabilește cu relația (XIII.29).

Se alege o valoare $\Delta\sigma_\lambda$ pentru pierderea de tensiune datorită efectului reducerii alungirii λ a armăturii în acest punct, în care efortul unitar de calcul este maxim pe traseul armăturii.

Aria suprafeței haşurate des din fig. XIII.8, *b* împărțită la E_p, trebuie să reprezinte valoarea λ, respectiv

$$\frac{1}{2E_p}\{\Delta\sigma_\lambda l_2 + [(\sigma_p^i)_c - (\sigma_p^i)'_c](l_r + l_2) + [(\sigma_p^i)_b - (\sigma_p^i)'_b](l_1 + l_r) + [(\sigma_p^i)_a - (\sigma_p^i)'_a]l_1\} = \lambda \quad \text{(XIII.32)}$$

și prin cîteva încercări se obține valoarea corectă $\Delta\sigma_\lambda$.

Efortul unitar de control σ_k se stabilește cu ajutorul relației

$$\sigma_k = (\sigma_p^i)_a = [(\sigma_p^i)'_d + \Delta\sigma)_\lambda] e^{\left(kl + \mu\frac{l_r}{r}\right)}. \quad \text{(XIII.33)}$$

Dacă $\sigma_k > R_p$, se reface calculul reducînd corespunzător valoarea efortului unitar σ_p^i și deci a efortului unitar de calcul σ_0 în punctul *d*.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul în care nu apar frecări pe traseul armăturilor, de exemplu armături exterioare, pierderea de tensiune se stabileşte cu relaţia (XIII.11), ca în cazul armăturilor preîntinse, respectiv

$$\Delta\sigma_\lambda = \frac{\lambda}{l} E_p .$$

b. *Metode practice de calcul al pierderilor de tensiune* $\Delta\sigma_f$ *şi* $\Delta\sigma_\lambda$

Metoda de calcul indicată mai înainte, exactă în ipotezele admise, este relativ laborioasă.

Pentru simplificarea calculului se recomandă utilizarea diagramei date în fig. XIII.9, care permite un calcul direct al distanţei l pentru un fascicul avînd la capătul de tragere două porţiuni de lungimi diferite (l_1 şi l_2) şi de caracteristici de frecare diferite $\left(\varkappa_1 = k_1 \text{ şi } \varkappa_2 = k + \frac{\mu}{r}\right)$, în ipoteza

$$l_1 < l \leqslant (l_1 + l_2).$$

Cu ajutorul valorilor obţinute din această diagramă se pot calcula pierderile de tensiune şi pentru toate celelalte cazuri întîlnite în practică, şi anume

$$l \leqslant l_1$$

$$(l_1 + l_2) < l \leqslant \frac{L}{2}$$

$$l > \frac{L}{2}.$$

Observaţie. Pentru calculul diagramelor s-a scris condiţia de egalitate a suprafeţei S_0 (a poligonului $ABCB'A'A$) cu valoarea produsului $E_p \lambda$.

$$S_0 = E_p \lambda.$$

Calculul suprafeţei S_0 (fig. XIII.10) se face prin împărţirea suprafeţei în două părţi printr-o paralelă BA'' la latura $B'A'$; valoarea σ'_λ obţinută astfel este egală cu

$$\sigma'_\lambda = e^{-2{,}3\,\alpha l_1}\,\sigma_k .$$

Scanned with OKEN Scanner

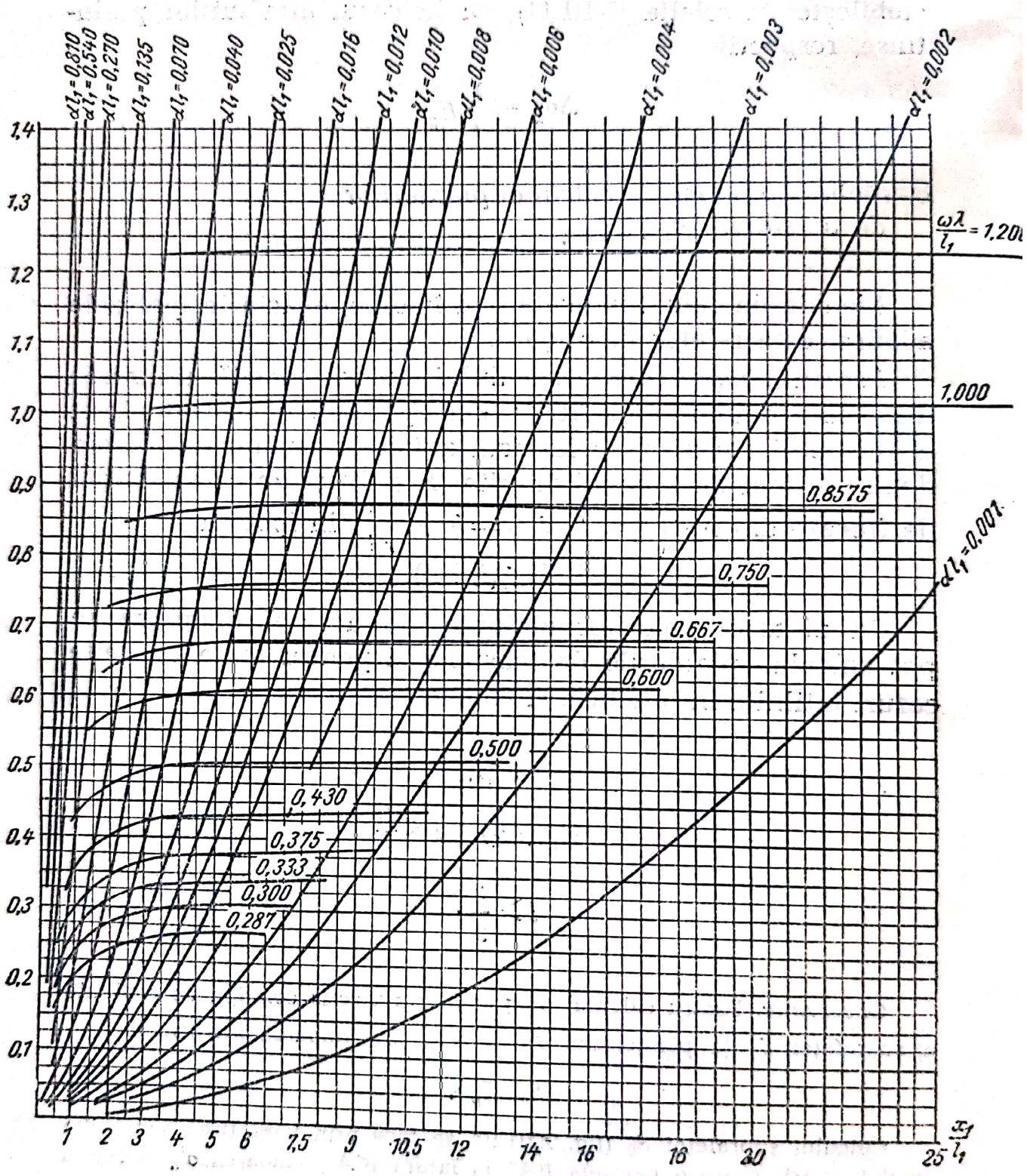

$\alpha l_1 = 0{,}810$
$\alpha l_1 = 0{,}540$
$\alpha l_1 = 0{,}270$
$\alpha l_1 = 0{,}135$
$\alpha l_1 = 0{,}070$
$\alpha l_1 = 0{,}040$
$\alpha l_1 = 0{,}025$
$\alpha l_1 = 0{,}016$
$\alpha l_1 = 0{,}012$
$\alpha l_1 = 0{,}010$
$\alpha l_1 = 0{,}008$
$\alpha l_1 = 0{,}006$
$\alpha l_1 = 0{,}004$
$\alpha l_1 = 0{,}003$
$\alpha l_1 = 0{,}002$
$\alpha l_1 = 0{,}001$
$\frac{\omega\lambda}{l_1} = 1{,}200$
1,000
0,8575
0,750
0,667
0,600
0,500
0,430
0,375
0,333
0,300
0,287
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
1
2
3
4
5
6
7,5
9
10,5
12
14
16
18
20
25
$\frac{x_1}{l_1}$

Fig. XIII.9 a

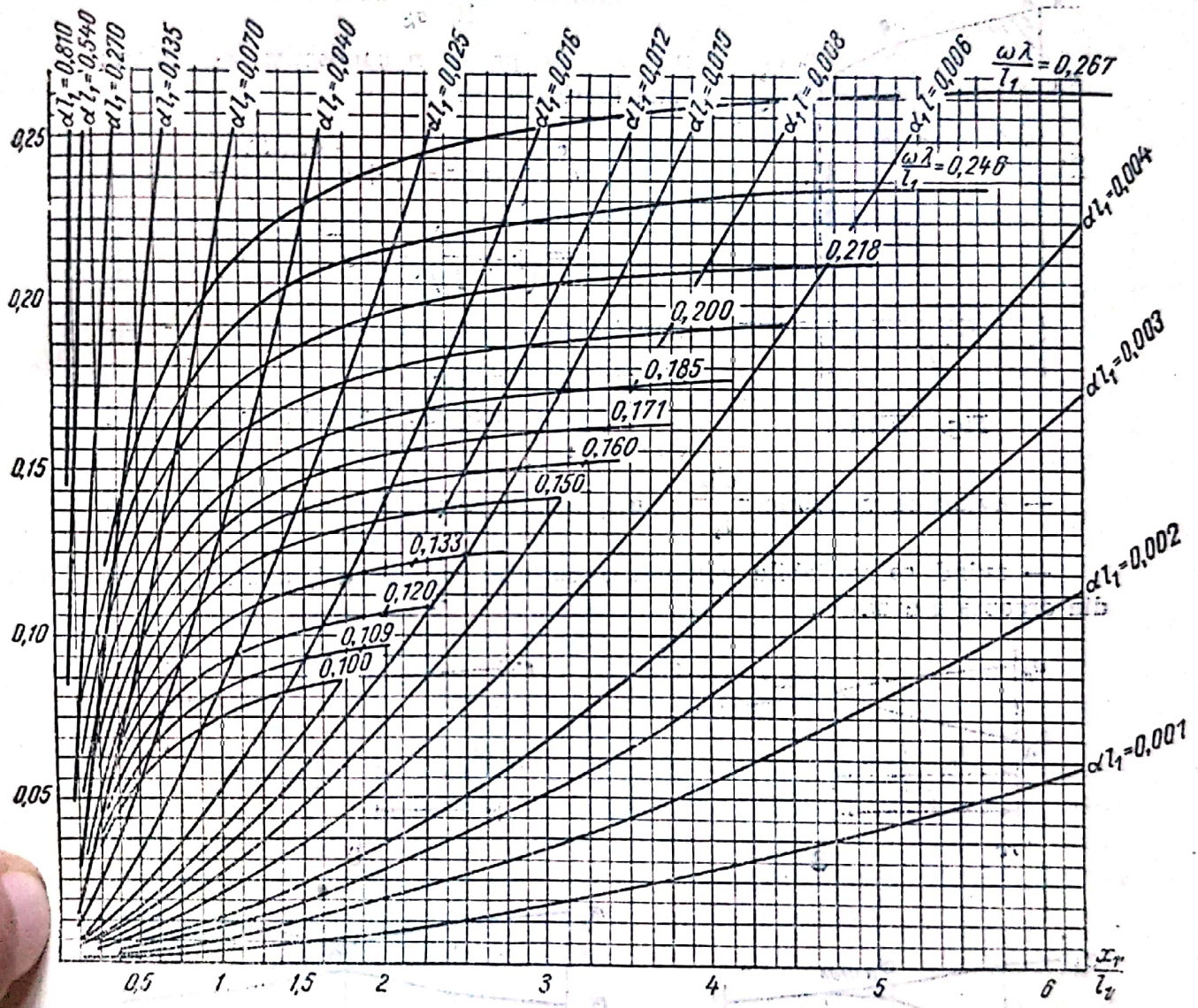

$\alpha l_1 = 0{,}810$
$\alpha l_1 = 0{,}540$
$\alpha l_1 = 0{,}270$
$\alpha l_1 = 0{,}135$
$\alpha l_1 = 0{,}070$
$\alpha l_1 = 0{,}040$
$\alpha l_1 = 0{,}025$
$\alpha l_1 = 0{,}016$
$\alpha l_1 = 0{,}012$
$\alpha l_1 = 0{,}010$
$\alpha l_1 = 0{,}008$
$\alpha l_1 = 0{,}006$
$\frac{\omega\lambda}{l_1} = 0{,}267$
$\frac{\omega\lambda}{l_1} = 0{,}246$
$\alpha l_1 = 0{,}004$
$\alpha l_1 = 0{,}003$
$\alpha l_1 = 0{,}002$
$\alpha l_1 = 0{,}001$
0,218
0,200
0,185
0,171
0,160
0,150
0,133
0,120
0,109
0,100
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,5
1
1,5
2
3
4
5
6
$\frac{x_r}{l_1}$

Fig. XIII.9 b

În continuare se poate scrie, considerînd l_1 și x în metri

$$S_0 = \frac{1}{2}(\sigma_k - \sigma'_\lambda)\,100 l_1 + (\sigma_B - \sigma_{B'})\;00\left(l_1 + \frac{x_1}{2}\right) = E_p\lambda$$

$$\frac{1}{2} l_1\left(1 - e^{-2{,}3\alpha_1 l_1}\right) + \left(l_1 + \frac{x_1}{2}\right) e^{-\alpha_1 l_1}\left[1 - e^{-2{,}3\alpha_2 x_1}\right] = \frac{E_p}{100\sigma_k}\lambda.$$

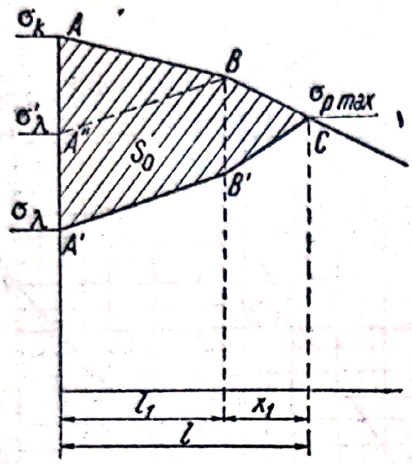


Fig. XIII.10.

Notîndu-se $\frac{E_p}{100\,\sigma_k} = \omega$ și izolînd termenii care cuprind necunoscuta x_1, relația anterioară devine

$$e^{\alpha_1 l_1}\left(2\omega\frac{\lambda}{l_1} - 1 + e^{-2{,}3\alpha_1 l_1}\right) = \left(2 + \frac{x_1}{l_1}\right)\left(1 - e^{-2{,}3\alpha_2 l_1 \frac{x_1}{l_1}}\right)$$

formă care permite calculul valorii $\frac{x_1}{l_1}$ cu ajutorul unui grafic.

În acest scop se trasează două familii de curbe:

— avînd ca variabile $\frac{\omega\lambda}{l_1}$ și $\alpha_1 l_1$ pentru partea din stînga a ecuației;

— avînd ca variabile valoarea raportului $\frac{x_1}{l_1}$ și $\alpha_2 l_1$ pentru partea din dreapta a ecuației.

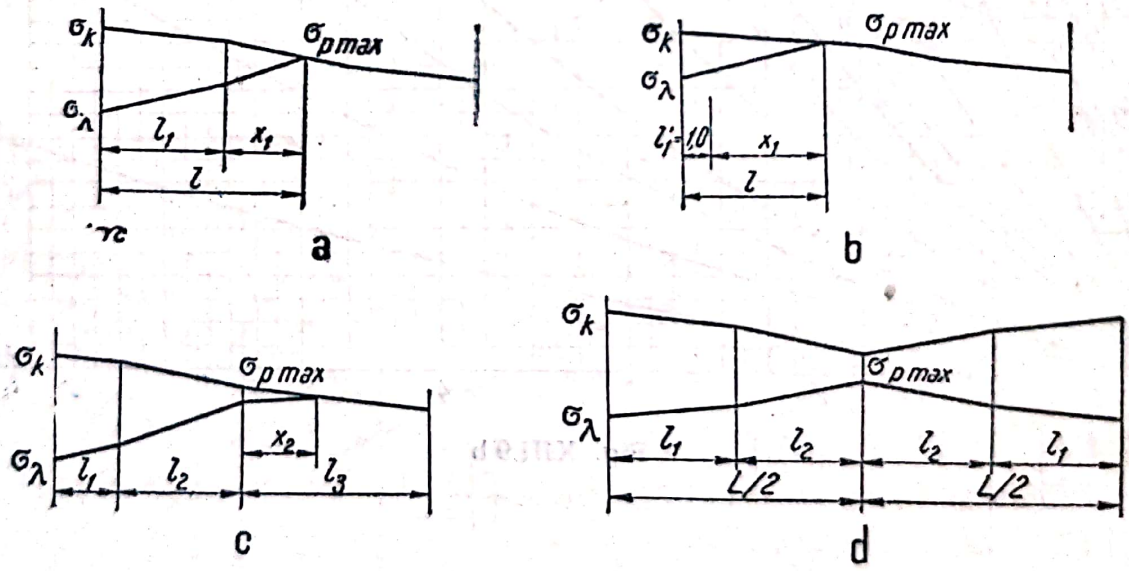


Fig. XIII.11.

Calculul cu diagrama XIII.9 pentru cazul de bază $l_1 < x \leqslant l_1 + l_2$) se face după cum se arată în continuare (fig. XIII.11, *a*).

— Se precizează și se determină în primul rînd valorile

$$\lambda;\ l_1;\ \alpha_1 = k;\ \alpha_1 l_1;\ \omega = \frac{E_p}{100\,\sigma_k};\quad \frac{\omega\lambda}{l_1};$$

$$\alpha_2 = k + \frac{\mu}{r};\ \alpha_2 l_1.$$

în care l_1 și r se introduc în m, λ în cm, iar E_p și σ_k în kgf/cm^2.

Observație. La proiectare se adoptă pentru fascicule din sîrme SBP paralele $E_p = 1\,800\,000$ kgf/cm^2; la verificare pe șantier se adoptă valoarea E_p măsurată experimental, la descărcare. Pentru σ_k se adoptă inițial o valoare $\sigma_k \leqslant 0{,}8\ R_p^n$, urmînd a se corecta această valoare în funcție de rezultatul pierderii de tensiune prin frecare.

— Se determină pe diagrama XIII.9 punctul de intersecție dintre curbele $\alpha_1 l_1$ și $\frac{\omega\lambda}{l_1}$ corespunzătoare cazului considerat.

— Se determină punctul de pe curba $\alpha_2 l_1$ avînd aceeași ordonată cu punctul stabilit anterior.

— Abscisa punctului determinat pe curba $\alpha_2 l_1$ reprezintă valoarea raportului $\frac{x_1}{l_1}$.

— Lungimea $x_1 = \left(\frac{x_1}{l_1}\right) l_1 = l - l_1 \leqslant l_2$ reprezintă distanța măsurată de la începutul porțiunii curbe, pînă la care se resimte influența lunecării și deformației locale în ancoraj la blocare.

— Se calculează, cu ajutorul tabelei XIII.5

$$\sigma_{pmax} = e^{-(\alpha_1 l_1 + \alpha_2 x_1)}\,\sigma^k \qquad \text{(XIII.34)}$$

și se verifică condiția $\sigma_{pma} \leqslant 0{,}7\ R_p^n - n\ \sigma_{bp}$; dacă această condiție nu este respectată se reface calculul cu diagrama, pentru o valoare corespunzătoare unei valori mai reduse a efortului unitar de control $\sigma_k < 0{,}8\ R_p^n$, această observație rămînînd valabilă și pentru toate cazurile care urmează.

— Se obține în continuare

$$\sigma_\lambda = e^{-2{,}3\,(\alpha_1 l_1 + \alpha_2 x_1)}\,\sigma_k. \qquad \text{(XIII.35)}$$

Dacă lungimea porțiunii rectilinii inițiale l_1 este mare și $l \leqslant l_1$ (fig. XIII.11, *b*), se admite $l_1 = 1$ m și $\alpha_1 = \alpha_2 = k$ și se stabilește cu ajutorul diagramei XIII.9 valoarea $\frac{x_1}{l_1}$; rezultă lungimea l

$$l = l_1 + \left(\frac{x_1}{l_1}\right) l_1 = 1 + \left(\frac{x}{l_1}\right) \qquad \text{(XIII.36)}$$

Scanned with OKEN Scanner

și

$$\sigma_{pmax}=e^{-kl}\sigma_k \leqslant 0{,}7R_p^n - n\sigma_{bp}; \qquad \text{(XIII.37)}$$

$$\sigma_\lambda = e^{-2{,}3kl}\sigma_k. \qquad \text{(XIII.38)}$$

Dacă lungimea $x_1=\left(\frac{x_1}{l_1}\right)l_1 > l_2$, respectiv dacă influența lunecărilor și deformațiilor în ancoraj la blocare se resimte pînă în cea de a doua porțiune rectilinie a cablului, de lungime l_3 (fig. XIII.11, c), distanța x_2 măsurată de la începutul acestei porțiuni se poate calcula cu relația

$$x_2 \approx -l_0 + \sqrt{l_0^2 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}(l_x - l_0)\,l_x} \qquad \text{(XIII.39)}$$

unde $l_0=l_1+l_2$

$l_x=l_1+x_1$.

În acest caz,

$$\sigma_{pmax}\approx e^{-[\alpha_1(l_1+x_2)+\alpha_2 l_2]}\sigma_k \leqslant 0{,}7\,R_p^n - n\sigma_{bp}; \qquad \text{(XIII.40)}$$

$$\sigma_\lambda = e^{-2{,}3[\alpha_1(l_1+x_2)+\alpha_2 l_2]}\sigma_k. \qquad \text{(XIII.41)}$$

În cazul unui fascicul avînd o curbură continuă pe toată lungimea, cu excepția porțiunilor de lungime l_1 de la capete, la care tensionarea se face de la ambele capete ale fasciculului (fig. XIII.11, *d*) și la care rezultă $l_1+x_1>L/2$ (L fiind întreaga lungime a fasciculului), se calculează mai întîi x_1 ca și cum lungimea porțiunii curbe de calcul nu ar fi limitată de mijlocul lungimii fasciculului și apoi se determină cu ajutorul acestei valori valorile σ_{pmax} și σ_λ cu următoarele relații

$$\sigma_{pmax}\approx e^{-(\alpha_1 l_1+\alpha_2 l_2)}\left[e^{-2{,}3\alpha_2\Delta l}\left(1+\frac{\Delta l}{L}\right)-\frac{\Delta l}{L}\right]\sigma_k \leqslant 0{,}7R_p^n - n\sigma_{bp},$$

și (XIII.42)

$$\sigma_\lambda = e^{-1{,}3[\alpha_1(l_1+x_2)+\alpha_2 l_2]}\sigma_k \qquad \text{(XIII.43)}$$

unde:

$$\Delta l = x_1 - l_2 = l - \frac{L}{2}.$$

O simplificare suplimentară a calculului pierderii de tensiune în zona de capăt datorită lunecărilor și deformațiilor

locale în ancoraj la blocare se obține prin utilizarea relațiilor aproximative date în continuare, rezultînd direct valoarea lungimii de fascicul l de la capătul elementului, pe care se extinde efectul reducerii alungirii armăturii.

Aceste relații s-au stabilit pe baza liniarizării curbelor de variație ale efortului unitar din armătură σ_p pe lungimea l.

Notațiile și modul de calcul rezultă din tabela XIII.6. La calculul valorii A, pentru σ_{pmax} se alege o valoare care să satisfacă, aproximativ, relația $\sigma_{pmax} \leqslant \sigma_0 - n\,\sigma_p$, valoare care se verifică după determinarea lui l.

În toate relațiile din tabela XIII.6, λ se introduce în cm, σ_{pmax} și E_p în kgf/cm² iar l, l_1, l_2 și r, în m.

Eforturile unitare în lungul armăturii se stabilesc ținînd seama de pierderile de tensiune $\Delta\sigma_f$ calculate cu relația (XIII.20), pornind de la secțiunea situată la distanța l de capătul elementului, secțiune în care se cunoaște σ_{pmax}, verificînd satisfacerea condițiilor prescrise pentru σ_0 și σ_k.

c. *Exemple de calcul*

Exemplul XIII.4. Fie un fascicul din sîrme paralele ∅ 5 mm SBP II de lungime $L=12{,}00$ m, pretensionat de la ambele capete, avînd la capete o porțiune rectilinie de lungime $l_1=1{,}20$ m, după care urmează o porțiune curbilinie de rază $r=15{,}00$ m și lungime $l_2=4{,}50$ m. Coeficienții de frecare sînt $k=0{,}010$ și $\mu=0{,}35$, iar $\lambda=0{,}3$.

Se cere să se determine efortul unitar maxim în fascicul după pretensionare și blocare

$$\alpha_1 = k = 0{,}010;\quad \alpha_1 l_1 = 0{,}010 \times 1{,}20 = 0{,}012$$

$$\alpha_2 = k + \frac{\mu}{r} = 0{,}010 + \frac{0.35}{15{,}00} = 0{,}0333;$$

$$\alpha_2 l_1 = 0{,}0333 \times 1{,}2 = 0{,}040.$$

Se admite inițial

$$\sigma_k = 0{,}8\,R_p^n = 0{,}8 \times 15\,000 = 12\,000 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\omega = \frac{E_p}{100\sigma_k} = \frac{1\,800\,000}{100 \times 12\,000} = 1{,}5$$

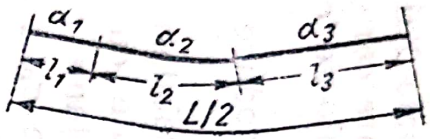
$$\frac{\omega\lambda}{l_1} = \frac{1{,}5 \times 0{,}3}{1{,}2} = 0{,}375.$$

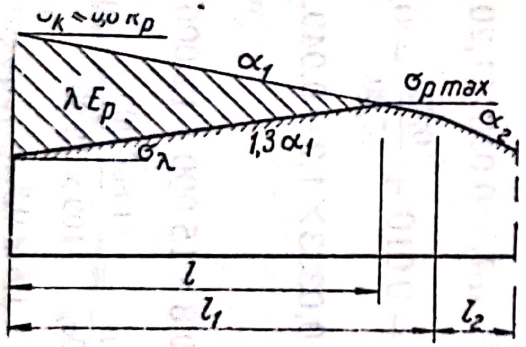
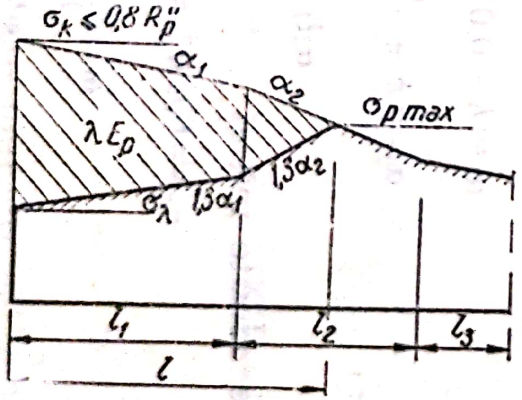
Scanned with OKEN Scanner

Tabela XIII.6

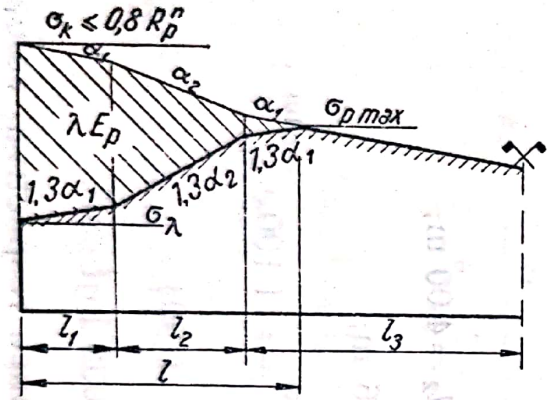
Relații aproximative pentru calculul influenței lunecărilor și deformațiilor locale în ancorajele fasciculelor postîntinse realizate din sîrme SBP paralele

$$A = \frac{\lambda E_p}{1{,}3\alpha_1^2 l_1 \sigma_{pmax}}; \quad B = \frac{L^2}{4l_1^2} + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\frac{l_2}{l_1}\left(2 + \frac{l_2}{l_1}\right)$$



Cazul	Condiția	Valori de calcul
	$A \leqslant 1$	$\frac{l}{l_1} = \sqrt{A}$ $\sigma_k = e^{\alpha_1' \sigma_{pmax}} \leqslant 0{,}8R_p^n$ $\sigma_\lambda = e^{-1{,}3\alpha_1 l} \sigma_{pmax}$
	$1 < A \leqslant 1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\frac{l_2}{l_1}\left(2 + \frac{l_2}{l_1}\right)$	$\frac{l}{l_1} = \sqrt{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}(A-1)}$ $\sigma_k = e^{\alpha_2 l - (\alpha_2 - \alpha_1) l_1} \sigma_{pmax} \leqslant 0{,}8R_p^n$ $\sigma_\lambda = e^{-1{,}3[\alpha_2 l - (\alpha_2 - \alpha_1) l_1]} \sigma_{pmax}$

Scanned with OKEN Scanner



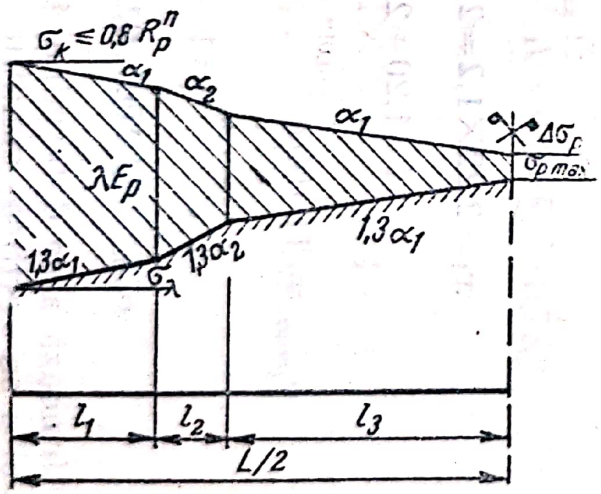
$$1+\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\frac{l_2}{l_1}\left(2+\frac{l_2}{l_1}\right)<A\leqslant$$

$$\leqslant\left(\frac{L}{2l_1}\right)^2+\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}-1\right)\frac{l_2}{l_1}\left(2+\frac{l_2}{l_1}\right)$$

$$\frac{l}{l_1}=\sqrt{A-\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}-1\right)\frac{l_2}{l_1}\left(2+\frac{l_2}{l_1}\right)}$$

$$\sigma_k=e^{\alpha_1 l+(\alpha_2-\alpha_1)l_2}\sigma_{pmax}\leqslant 0{,}8R_p^n$$

$$\sigma_\lambda=e^{-1{,}3[\alpha_1+(\alpha_2-\alpha_1)l_2]}\sigma_{pmax}$$



$$A>\left(\frac{L}{2l_1}\right)^2+$$

$$\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}-1\right)\frac{l_2}{l_1}\left(2+\frac{l_2}{l_1}\right)$$

$$\Delta\sigma_p=2{,}3\frac{A-B}{B+\dfrac{L}{\alpha_1 l_1^2}}\sigma_{pmax}$$

$$\sigma_k=e^{[\alpha_1(l_1+l_3)+\alpha_2 l_2]}(\sigma_{pmax}+\Delta\sigma_p)\leqslant 0{,}8R_p^n$$

$$\sigma_\lambda=e^{-1{,}3[\alpha_1(l_1+l_3)+\alpha_2 l_2]}\sigma_{pmax}$$

Scanned with OKEN Scanner

Din diagrama XIII.9 rezultă

$$\frac{x_1}{l_1} = 2{,}1;\ x_1 = 2{,}1 \times 1{,}2 = 2{,}52\ \text{m} < l_2 = 4{,}00$$

respectiv cazul din fig. XIII.11, *a*

$$l = x_1 + l_1 = 2{,}52 + 1{,}20 = 3{,}72\ \text{m};$$

$$\sigma_{pmax} = \sigma_k e^{-(a_1 l_1 + a_2 v_1)} = 12\,000\, e^{-(0{,}012 + 0{,}0333 \times 2{,}52)} = 12\,000\, e^{-0{,}096}.$$

Din tabela XIII.5

$$e^{-0{,}096} = 1 - 0{,}0914 = 0{,}9086.$$

Deci

$$\sigma_{pmax} = 0{,}9086 \times 12\,000 = 10\,900\ \text{kgf/cm}^2 = 0{,}727\ R_p^n.$$

Această valoare fiind mai mare chiar decît $0{,}7\ R_p^n = \sigma_{0\ max}$ (fără a mai ține seamă de termenul $n\sigma_{bp}$), este necesar a reface calculul cu o valoare mai mică pentru σ_k.

Se admite $\sigma_k = 0{,}74\ R_p^n = 11\,100$ kgf/cm^2.

$$\omega = \frac{1\,800\,000}{100 \times 11\,100} = 1{,}62$$

$$\frac{\omega\lambda}{l_1} = \frac{1{,}62 \times 0{,}3}{1{,}2} = 0{,}405.$$

Din diagrama XIII.9 rezultă

$$\frac{x_1}{l_1} = 2{,}22$$

$$x_1 = 2{,}22 \times 1{,}2 = 2{,}66\ \text{m} < l_2 = 4{,}00\ \text{m};$$

$$l = 1{,}20 + 2{,}66 = 3{,}86\ \text{m};$$

$$\sigma_{pmax} = 11\,100\, e^{-(0{,}012 + 0{,}033 \times 2{,}66)} = 11\,100\, e^{-0{,}101};$$

$$e^{-0{,}101} = 1 - 0{,}096 = 0{,}904;$$

$$\sigma_{pmax} = 11\,100 \times 0{,}904 = 10\,035\ \text{kgf/cm}^2.$$

Urmează a se determina, în secțiunea respectivă, valoarea σ_{bp} și a se verifica condiția $\sigma_{pmax} \leq 0{,}7\ R_p^n - n\sigma_{bp}$.

Scanned with OKEN Scanner

Exemplul XIII.5. Fie un tirant din beton B 400, de secțiune 16×16 cm, de lungime $L=12{,}00$ m, precomprimat cu un fascicul 12∅5 mm SBP II în teacă din PCV, $\varnothing_{int}=28{,}4$ mm, pretensionat de la un capăt. Să se determine σ_k și σ_{pmax}.

Se consideră cazul din fig. XIII.11, *b*

$$l_1=1{,}00 \text{ m}.$$

$$\alpha_1=\alpha_2=k=0{,}006;\ \alpha_1 l_1=\alpha_2 l_1=0{,}006.$$

Pentru

$$\sigma_k=0{,}8\,R_p^n=12\,000 \text{ kgf/cm}^2$$

și $$\frac{\omega\lambda}{l_1}=0{,}45,$$

rezultă din diagrama XIII.9

$$\frac{x_1}{l_1}=x_1=7{,}30$$

$$l=1{,}00+7{,}30=8{,}30 \text{ m}<L$$

$$\sigma_{pmax}=\sigma_k e^{-\alpha_1 l}=12\,000e^{-0{,}006\times 8{,}30}=12\,000e^{-0{,}0498}$$

$$e^{-0{,}0498}=1-0{,}049=0{,}951.$$

$$\sigma_{pmax}=0{,}951\times 12\,000=11\,410 \text{ kgf/cm}^2\approx 0{,}76\,R_p^n.$$

Din relația (XIII.53) rezultă

$$\sigma_0=\frac{\sigma_p}{1-n_p\frac{A_p}{A_i}}=\frac{0{,}76R_p^n}{1-5{,}15\frac{2{,}35}{260\,1}}=0{,}8R_p^n>0{,}7R_p^n$$

unde

$$A_i=A_{bnet}+n_pA_p=248+5{,}15\times 2{,}35=260{,}1 \text{ cm}^2$$

$$A_{b\,net}=A_b-A_g=16\times 16-\frac{\pi}{4}3{,}2^2=248 \text{ cm}^2.$$

Se reface calculul cu

$$\sigma_k=0{,}70\ R_p^n=10\,500 \text{ kgf/cm}^2.$$

și $$\frac{\omega\lambda}{l_1}=0{,}516.$$

Scanned with OKEN Scanner

Din diagrama XIII.9 rezultă

$$\frac{x_1}{l_1} = x_1 = 7{,}90 \text{ m}; \quad l = 1{,}00 + 7{,}90 = 8{,}90 \text{ m}.$$

$$\sigma_{pmax} = 10\,500\, e^{-0{,}006 \times 8{,}90} = 10\,500\, e^{-0{,}0534}$$

$$e^{-0{,}0534} = 1 - 0{,}052 = 0{,}948$$

$$\sigma_{pmax} = 10\,500 \times 0{,}948 = 9\,950 \text{ kgf/cm}^2 = 0{,}662\ R_p^n$$

$$\sigma_0 = \frac{0{,}662 R_p^n}{1 - 5{,}15 \dfrac{2{,}35}{260{,}1}} = 0{,}694\, R_p^n < 0{,}7 R_p^n.$$

Exemplul XIII.6. Fie același tirant din exemplul XIII.5 în cazul pretensionării fasciculului de la ambele capete. Să se determine σ_k și σ_{pmax}.

După cum rezultă din exemplul XIII.5, pentru

$$\sigma_k = 12\,000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$l = 8{,}30 \text{ m} > \frac{L}{2} = 6{,}00 \text{ m}$$

respectiv în cazul din fig. XIII.11, *d*

$$\Delta l = l - \frac{L}{2} = 8{,}30 - \frac{12{,}00}{2} = 2{,}30 \text{ m}$$

$$\sigma_{pmax} = e^{-\alpha \frac{L}{2}} \left[\left(1 + \frac{\Delta l}{L}\right) e^{-2{,}3\alpha_2 \Delta l} - \frac{\Delta l}{L} \right] \sigma_K =$$

$$= e^{-0{,}036} \left[1{,}383\, e^{-0{,}0318} - 0{,}383 \right] 12\,000$$

$$e^{-0{,}036} = 1 - 0{,}0354 = 0{,}9646$$

$$e^{-0\,0318} = 1 - 0{,}0316 = 0{,}9684$$

$$\sigma_{pmax} = 0{,}9646[1{,}383 \times 0{,}9684 - 0{,}383]12\,000 =$$

$$= 11\,190 \text{ kgf/cm}^2 = 0{,}745\ R_p^n$$

$$\sigma_0 = \frac{0{,}745 R_p^n}{1 - 5{,}15 \dfrac{2{,}35}{260{,}1}} = 0{,}78 R_p > 0{,}7 R_p^n.$$

Se reface calculul cu

$$\sigma_k = 0{,}72\, R_p^n = 10\,800 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\frac{\omega^1}{l_1} = \frac{1\,800\,000 \times 0{,}3}{100 \times 10\,800 \times 1{,}00} = 0{,}5.$$

Scanned with OKEN Scanner

Rezultă $l=8{,}75$ m

$$\Delta l=2{,}25 \text{ m}$$

$$\sigma_{pmax}=0{,}9646\left[\left(1+\frac{2.25}{6{,}00}\right)e^{-2{,}3\times 0{,}006\times 2{,}25}-\frac{2{,}25}{6{,}00}\right]10\,800=$$

$$=0{,}9646\,[1{,}375\,e^{-0{,}031}-0{,}375]\,10\,800$$

$$e^{-0{,}031}=1-0{,}031=0{,}969$$

$$\sigma_{pmax}=9\,970 \text{ kgf/cm}^2=0{,}663R_p^n$$

$$\sigma_0=\frac{0{,}663R_p^n}{1-5{,}15\dfrac{2{,}35}{260{,}1}}=0{,}695R_p^n<0{,}7R_p^n.$$

Exemplul XIII.7. Folosind datele din exemplul XIII.4 se calculează valoarea l cu relațiile aproximative din tabela XIII.6

$$l_1=1{,}20 \text{ m};\quad l_2=4{,}50 \text{ m};\quad r=15{,}00 \text{ m}.$$

$$\alpha_1=k=0{,}01;\ \mu=0{,}35;\ \lambda=0{,}3 \text{ cm}.$$

$$\sigma_{pmax}=10\,035 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$A=\frac{\lambda E_p}{115l_1^2\,\alpha_1\,\sigma_{pmax}}=\frac{0{,}3\times 1\,800\,000}{115\times 1{,}20^2\times 0{,}01\times 10\,035}=32{,}6>1$$

$$\alpha_2=0{,}01+\frac{0{,}35}{15}=0{,}0333;\qquad \frac{\alpha_2}{\alpha_1}=\frac{0{,}0333}{0{,}01}=3{,}33$$

$$\frac{l_2}{l_1}=\frac{4{,}50}{1{,}20}=3{,}75$$

$$A=32{,}6<1+3{,}33\times 3{,}75(2+3{,}75)=72{,}9$$

deci $l_1<l<l_1+l_2$ și

$$\frac{l}{l_1}=\sqrt{1+\frac{0{,}01}{0{,}0333}31{,}6}=3{,}24$$

$$l=1{,}2\times 3{,}24=3{,}89 \text{ m}.$$

Prin calculul mai exact cu diagrama XIII.9 s-a obținut $l=3{,}86$ m.

Scanned with OKEN Scanner

Exemplul XIII.8. Folosind datele din exemplul XIII.5 se calculează valoarea l cu relațiile aproximative din tabela XIII.6

$$l_1=12{,}00 \text{ m}; \quad \alpha_1=k=0{,}006; \quad \lambda=0{,}3 \text{ cm}$$

$$\sigma_{pmax}=9\,950 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A=\frac{\lambda E_p}{115 l_1^2 \alpha_1 \sigma_{pmax}}=\frac{0{,}3\times 1\,800\,000}{115\times 12^2\times 0{,}006\times 9\,950}=0{,}547<1$$

$$\frac{l}{l_1}=\sqrt{0{,}547}=0{,}74$$

$$l=12\times 0{,}74=8{,}88 \text{ m}.$$

Prin calculul mai exact cu diagrama XIII.9 s-a obținut $l=8{,}90$ m.

4. Pierderea de tensiune $\Delta\sigma_{str}$ datorită strivirii betonului sub armături înfășurate

Pierderea de tensiune în armătura înfășurată ca urmare a strivirii betonului, se ia în considerație numai dacă diametrul elementului ce se înfășoară este sub 3 m; în acest caz se poate considera că pierderea de tensiune are valoarea

$$\Delta\sigma_{str}=300 \text{ kgf/cm}^2.$$

5. Calculul eforturilor unitare din beton și armătură în faza inițială

a. *Relații de calcul*

Eforturile unitare care apar în faza inițială în secțiunea unui element cu armătura postîntinsă se calculează după cum se arată în continuare.

Grindă la care toate armăturile se pretensionează concomitent.

Într-o fibră oarecare de beton la distanța y de la centrul de greutate al secțiunii

$$\sigma_b=\frac{N_0}{A_i}+\frac{N_0 e_0 y}{I_i}+\frac{My}{I_i} \qquad \text{(XIII.44)}$$

unde M este momentul încărcărilor permanente care intră în acțiune în timpul precomprimării.

În armătura pretensionată

$$\sigma_p=\sigma_0-n_p\,\sigma_{bp} \qquad \text{(XIII.45)}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde σ_{bp} reprezintă efortul unitar din fibra de beton de la nivelul armăturii pretensionate.

Dar

$$\sigma_{bp} = \frac{N_0}{A_i} + \frac{N_0 e_0^2}{I_i} + \frac{M e_0}{I_i} = \frac{A_p \sigma_0}{A_i}\left(1 + \frac{e_0^2}{r_i^2}\right) + \sigma_{bM} = \mu_p\left(1 + \frac{e_0^2}{r_i^2}\right)\sigma_0 + \sigma_{bM}$$

unde $r_i = \sqrt{\frac{I_i}{A_i}}$ este raza de giraţie a secţiunii ideale;

$$\mu_p = \frac{A_p}{A_i}; \quad \sigma_{bM} = \frac{M e_0}{I_i}.$$

Deci

$$\sigma_p = \sigma_0\left[1 - n_p \mu_p\left(1 + \frac{e_0^2}{r_i^2}\right)\right] - n_p \sigma_{bM}; \qquad \text{(XIII.46)}$$

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_p + n_p \sigma_{bM}}{1 - n_p\, \mu_p\left(1 + \frac{e_0^2}{r^2}\right)}. \qquad \text{(XIII.47)}$$

Relaţia (XIII.47) se utilizează pentru stabilirea directă a efortului unitar de calcul şi verificarea condiţiei

$$\sigma_0 < 0{,}7 R_p^n$$

în fiecare punct în lungul armăturii postîntinse.

Grindă cu mai multe armături pretensionate succesiv

În acest caz, efortul unitar de calcul σ_0 este în general diferit pentru fiecare armătură din secţiune.

Valoarea forţei de precomprimare N_0 se stabileşte cu relaţia (XIII.6) iar excentricitatea e_0 a acesteia faţă de centrul de greutate al secţiunii rezultă din relaţia (XIII.7).

Efortul unitar într-o fibră oarecare de beton se calculează cu relaţia (XIII.44) iar efortul unitar dintr-o armătură pretensionată oarecare cu relaţia (XIII.45).

În practică se pune însă deseori problema determinării eforturilor unitare de calcul σ_0 în lungul fiecărei armături în parte, în funcţie de valorile σ_p la pretensionarea armăturii respective.

Problema se poate rezolva numai în etape, stabilind starea de eforturi la pretensionarea unei armături *j*, în funcţie de starea de eforturi din secţiune datorită efectului tuturor armăturilor pretensionate înaintea armăturii considerate şi a eventualelor încărcări permanente intrate în lucru pînă la blocarea armăturii *j* în ancoraj.

Scanned with OKEN Scanner

Ţinînd seama de condiţia compensării efectului întinderii succesive a armăturilor rezultă în conformitate cu relaţia (XIII.19)

$$\sigma_p^j = \sigma_0^j - n_p \sigma_{bp}^{0,j}$$

în care: $\sigma_{bp}^{0,j}$ este efortul unitar care apare în fibra de beton de la nivelul armăturii j considerate, în urma întinderii tuturor armăturilor pînă la armătura j inclusiv şi a încărcărilor permanente care intră în acţiune pînă în acel moment

$$\sigma_{bp}^{0,j} = \frac{N_0^j}{A_i} + \frac{N_0^j e_0 e_i}{I_i} + \frac{M_j e_j}{I_i}; \qquad \text{(XIII.48)}$$

$N_0^j = \sum_1^j A_p \sigma_0$ — forţa de precomprimare datorită tuturor armăturilor pretensionate pînă la armătura j inclusiv;

$N_0^j e_0^j = \sum_1^j A_p \sigma_0 e_0$ — momentul forţei de precomprimare N_0^j faţă de centrul de greutate al secţiunii;

M_j — momentul eventualelor încărcări permanente intrate în acţiune pînă la pretensionarea armăturii j inclusiv.

Notînd cu:

$(\sigma_{bp}^{0,j-1})_j$ — efortul unitar care apare în fibra de beton de la nivelul armăturii j considerate, în urma întinderii tuturor armăturilor pînă la armătura j—1 inclusiv şi a încărcărilor permanente care intră în acţiune pînă în acel moment

unde

$$(\sigma_{bp}^{0,j-1})_j = \frac{N_0^{j-1}}{A_i} + \frac{N_0^{j-1} e_0^{j-1} e_j}{I_i} + \frac{M_{j-1} e_j}{I}; \qquad \text{(XIII.49)}$$

$N_0^{j-1} = \sum_1^{j-1} A_p \sigma_0$ — forţa de precomprimare datorită tuturor armăturilor pretensionate pînă la armătura j—1 inclusiv;

$N_0^{j-1} e_0^{j-1} = \sum_1^{j-1} A_p \sigma_0 e_0$ — momentul forţei de precomprimare $I\,{}_0^{j-1}$ faţă de centrul de greutate al secţiunii;

Scanned with OKEN Scanner

M_{j-1} este momentul eventualelor încărcări permanente intrate în acțiune pînă la pretensionarea armăturii j—1 inclusiv;

rezultă

$$\sigma_{bp}^{0,j} = (\sigma_{bp}^{0,j-1})_j + \sigma_{bp}^j$$

unde

$$\sigma_{bp}^j = \frac{A_p^j \sigma_0^j}{A_i}\left(1 + \frac{e_j^2}{r_i^2}\right) + \sigma_{bM}^j$$

$$\sigma_{bM}^j = \frac{M_j e_j}{I_i};$$

M_j — momentul eventualelor încărcări permanente intrate în acțiune în cursul pretensionării armăturii j.

Ca urmare

$$\sigma_p^j = \sigma_0^j - n_p \sigma_{bp}^{0,j} = \sigma_0^j \left[1 - n_p \frac{A_p^j}{A_i}\left(1 + \frac{e_j^2}{I_i}\right)\right] - n_p[(\sigma_{bp}^{0,j-1})_j + \sigma_{bM}^j]; \quad \text{(XIII.50)}$$

$$\sigma_0^j = \frac{\sigma_p^j + n_p[(\sigma_{bp}^{0,j-1})_j + \sigma_{bM}^j]}{1 - n_p \frac{A_p^j}{A_i}\left(1 + \frac{e_j^2}{r_i^2}\right)}. \quad \text{(XIII.51)}$$

În toate relațiile de calcul anterioare σ_p^j reprezintă efortul unitar introdus în armătură la pretensionare, ținînd seama de efectul frecărilor pe traseu precum și de efectul lunecărilor și deformațiilor locale în ancoraj la blocare, iar σ_0^j, efortul unitar de calcul corespunzător, stabilit cu condiția compensării efectului întinderii succesive a armăturilor.

Observație. În cazul particular al elementelor precomprimate centric relațiile se simplifică, deoarece $M_j=0$ și $e_j=0$ pentru fiecare armătură sau grup de armături pretensionate concomitent, deci

$$\sigma_p^j = \sigma_0^j \left[1 - n_p \frac{A_p^j}{A_i}\right] - n_p \sigma_{bp}^{0,j-1}; \quad \text{(XIII.52)}$$

$$\sigma_0^j = \frac{\sigma_p^j + n_p \sigma_{bp}^{0,j-1}}{1 - n_p \frac{A_p^j}{A_i}}. \quad \text{(XIII.53)}$$

b. *Exemplu de calcul*

Exemplul XIII.9. Pentru grinda din fig. XIII.4 să se stabilească eforturile unitare în faza inițială în secțiunea de la mijlocul deschiderii.

Ordinea de pretensionare corespunde numerotării din fig. XIII.4.

Scanned with OKEN Scanner

Se cunoaște

$A_i = 3\,082$ cm²; $I_i = 5\,681\,000$ cm⁴; $r_i^2 = \frac{I_i}{A_i} = 1\,840$ cm², $n_p = 4{,}75$.

Armături SBP I; $R_p^n = 16\,500$ kgf/cm²; $0{,}7\,R_p^n = 11\,550$ kgf/cm².

Pentru fiecare fascicul în parte se cunoaște efortul unitar în momentul pretensionării σ_p^j, stabilit pe baza pierderilor de tensiune datorită frecărilor pe traseu, cu respectarea condițiilor prescrise pentru σ_k la capătul elementului și pentru σ_0 în punctul de valoare maximă de pe traseul armăturii.

Greutatea proprie intră în acțiune la pretensionarea fasciculului *1*

$$M_g = 14 \text{ tfm}.$$

Tabela XIII.7

Calculul valorilor σ_o^i în secțiunea de la mijlocul deschiderii pentru grinda de beton precomprimat cu armătura postîntinsă din fig. XIII.4

Fasciculul	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	Σ
A_p^i cm²	7,07	2,35	4,70	7,07	7,07	
e_j cm	36	—49	59	47	58	
$1-n_p\frac{A_p^i}{A_i}\left(1+\frac{e_j^2}{r_i^2}\right)$	0,981	0,992	0,979	0,976	0,969	
σ_p^i kgf/cm²	11 390	11 420	11 100	10 900	10 450	
$\left[\sigma_{bp}^{0,j-1}\right]_j$ kgf/cm²						
greutatea proprie	—8,9	+12	—14,5	—11,5	—14,3	
fasciculul *1*		+ 1,2	+57,0	+50,8	+56,5	
2			— 5,0	— 2,2	— 4,8	
3				+44,0	+50,2	
4					+65,7	
5						
Total	—8,9	+13,2	+37,5	+81,1	+153,3	
$n_p(\sigma_{bp}^{0,j-1})_j$	—42	63	178	385	730	
$\sigma_p^j + n_p(\sigma_{bp}^{0,j-1})_j$	11 348	11 483	11 278	11 285	11 180	
σ_0^j	11 550	11 550	11 520	11 550	11 520	
$A_p^j\,\sigma_0^j$ kgf	81 600	27 200	54 200	81 600	81 400	326 000
$A_p^j\,\sigma_0^j e_j$ kgfcm	2 940 000	—1 330 000	3 190 000	3 840 000	4 720 000	13 360 000

Scanned with OKEN Scanner

Calculul valorilor σ_{j0} se efectuează cu relațiile (XIII.48)—(XIII.51) și se sistematizează în tabela XIII.7.

Rezultă în final

$$N_0 = \Sigma A_p^j \sigma_0^j = 326\,000 \text{ kgf};$$

$$N_0 e_0 = \Sigma A_p^j \sigma_0^j e_j = 13\,360\,000 \text{ kgfcm};$$

$$Mj = 1\,400\,000 \text{ kgfcm}.$$

Calculul eforturilor unitare în faza inițială, după ce s-au terminat integral operațiile de precomprimare, se efectuează cu relațiile (XIII.44) și (XIII.45) și se sistematizează în tabela XIII.8.

Tabela XIII.8

Calculul eforturilor unitare în faza inițială în secțiunea de la mijlocul deschiderii pentru grinda de beton precomprimat cu armătura postîntinsă din fig. XIII.4

Fibra	e_j cm	Efortul unitar	$\frac{N_0}{A_i}$ kgf/cm²	$\frac{N_0 e_0}{I_i} e_j$ kgf/cm²	$\frac{M_g}{I_i} e_j$ kgf/cm²	Σ kgf/cm²	$\sigma_0 j$ kgf/cm²	$n\sigma_{bp}$ kgf/cm²	σ_p kgf/cm²
In dreptul fasciculului : 1	36	σ_{bp}^1	105,8	+ 84,6	— 8,9	181,5	11 550	862	10 688
2	—49	σ_{bp}^2	105,8	—115,0	+12,0	2,8	11 550	13	11 537
3	59	σ_{bp}^3	105,8	+138,5	-14,5	229,8	11 520	1 090	10 430
4	47	σ_{bp}^4	105,8	+110,3	—11,5	204,6	11 550	972	10 578
5	58	σ_{bp}^5	105,8	+136,0	—14,3	227,7	11 520	1 080	10 440
Marginea superioară	—55	σ_b^s	105,8	—129,2	+13,6	—9,8			
Marginea inferioară	65	σ_b^i	105,8	152,7	—16,0	242,5			

E. CALCULUL EFORTURILOR UNITARE ÎN FAZA FINALĂ

1. Efortul unitar de calcul în faza finală

Efortul unitar de calcul în faza finală se determină cu relațiile

$$\bar{\sigma}_0 = \sigma_0 - (\Delta\sigma_r + \Delta\sigma_\varphi^-); \qquad \text{(XIII.54)}$$

$$\bar{\sigma}_0' = \sigma_0' - (\Delta\sigma_r' + \Delta\sigma_\varphi^{i-}), \qquad \text{(XIII.55)}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care:

$\Delta\sigma_r$ respectiv $\Delta\sigma'$ este pierderea de tensiune datorită relaxării armăturii pretensionate;

$\Delta\sigma_{\bar{\varphi}}$ respectiv $\Delta\sigma'_{\bar{\varphi}}$ — pierderea de tensiune datorită contracției și curgerii lente a betonului.

Este necesar ca să se respecte, în toate punctele în lungul armăturii, condiția

$$\bar{\sigma}_0 \geqslant 0{,}4R_p^n. \qquad \text{(XIII.56)}$$

Forța de precomprimare este egală cu rezultanta eforturilor de calcul din armăturile din secțiune (fig. XIII.12)

$$\bar{N}_0 = A_p\bar{\sigma}_0 + A'_p\bar{\sigma}'_0 - A_a\sigma_a - A'_a\sigma'_a. \qquad \text{(XIII.57)}$$

Excentricitatea acesteia față de centrul de greutate al secțiunii ideale se determină cu relația

$$\bar{e}_0 = \frac{A_p\bar{\sigma}_0 y_p - A'_p\bar{\sigma}'_0 y'_p - A_a\sigma_a y_a + A'_a\sigma'_a y'_a}{\bar{N}_0} \qquad \text{(XIII.58)}$$

unde y_p, y'_p, y_a și y'_a au semnificațiile din fig. XIII. 12.

Se va ține seama de armătura nepretensionată din secțiune numai dacă aria acesteia depășește 25% din aria armăturii pretensionate.

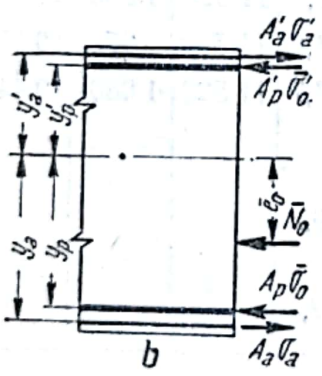


Fig. XIII.12.

În cazul dispunerii armăturilor după trasee curbe sau poligonale, valorile eforturilor de calcul din armături se înmulțesc cu cos α, respectiv cos α′, unde α și α′ reprezintă unghiurile respective de înclinare a armăturilor față de axa longitudinală a elementului.

Pierderile de tensiune în faza finală se determină după cum se arată în continuare.

2. Pierderea de tensiune $\Delta\sigma_r$ datorită relaxării armăturii pretensionate

Pierderea de tensiune în armătura pretensionată datorită fenomenului de relaxare a oțelului se calculează cu relația

$$\Delta\sigma_r = \Phi\ \sigma_0 \qquad \text{(XIII.59)}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: σ_0 este efortul unitar de calcul din armătura pretensionată;

Φ — coeficient care depinde de tipul de armătură (respectiv de oțel) și de mărimea efortului unitar σ_0.

Pentru armăturile pretensionate realizate din sîrmă netedă, trasă la rece din oțel carbon SBP, în condițiile respectării

Tabela XIII.9

Valorile de calcul pentru coeficientul Φ la armături pretensionate alcătuite din sîrme SBP

Modul de efectuare a pretensionării	Armătură din sîrme paralele	Armătură din sîrme împletite
a) Armătura calibrată la un efort unitar egal cu R_p — Armătura întinsă prealabil timp de minimum 5 min la un efort cu 10% mai mare decît valoarea prescrisă sau armătura retensionată după minimum 48 ore la efortul prescris (în ambele cazuri dacă efectul scăderii ulterioare a efortului unitar cu 10% sau efectul retensionării se resimte pe întreaga lungime a elementului ținînd seama de influența frecărilor pe traseu)	0,05	0,06
b) În celelalte cazuri	0,08	0,10

valorilor limită pentru efortul unitar de calcul σ_0, valoarea coeficientului Φ se poate lua din tabela XIII.9.

În cazul în care este necesară determinarea efortului unitar efectiv din armătura pretensionată, la diferite intervale de timp de la pretensionare, pierderea de tensiune realizată pînă în

Tabela XIII.10

Coeficienți K_Φ pentru calculul efectului relaxării armăturii

Durata în zile de la pretensionare	2	20	20	30
K_Φ	0,50	0 64	0,82	1,0

Scanned with OKEN Scanner

momentul respectiv se poate calcula prin multiplicarea valorilor Φ din tabela XIII.9 cu coeficienții K_Φ din tabela XIII.10.

3. Pierderea de tensiune $\Delta\sigma_{\bar{\varphi}}$ datorită contracției și curgerii lente a betonului

Pierderea de tensiune în armătura pretensionată datorită deformației în timp a betonului, sub efectul contracției și curgerii lente, se calculează cu relația

$$\Delta\sigma_{\bar{\varphi}} = n_p \bar{\varphi} \sigma_{bp} \geqslant \bar{\varepsilon}_c E_p \qquad \text{(XIII.60)}$$

în care:

$$n_p = \frac{E_p}{E_b};$$

$E_p = 1\,800\,000$ kgf/cm^2;

E_b este modulul de elasticitate al betonului avînd rezistența egală cu marca;

$\bar{\varphi}$ — caracteristica deformației în timp a betonului;

$\bar{\varepsilon}_c$ — deformația specifică în timp a betonului datorită contracției;

σ_{bp} — efortul unitar de compresiune în fibra de beton de la nivelul centrului de greutate al armăturii pretensionate considerate, datorită acțiunii forței de precomprimare în faza inițială, a încărcărilor permanente și a încărcărilor temporare de lungă durată.

Efortul unitar de calcul σ_a din armăturile nepretensionate în faza finală, se calculează cu relația

$$\sigma_a = n_a \bar{\varphi} \sigma_{ba} \geqslant \bar{\varepsilon}_c E_a \qquad \text{(XIII.61)}$$

cu respectarea condiției

$$\sigma_a \leqslant R_a^n \qquad \text{(XIII.62)}$$

în care:

$$n_a = \frac{E_a}{E_b}.$$

$E_a = 2\,100\,000$ kgf/cm^2;

σ_{ba} este efortul unitar de compresiune în fibra de beton de la nivelul centrului de greutate al armăturii nepretensionate considerate, datorită acțiunii forței de precomprimare în faza inițială, a încărcărilor permanente și a încărcărilor temporare de lungă durată.

Dacă forța de precomprimare sau încărcările permanente (respectiv încărcările temporare de lungă durată) se aplică în

Scanned with OKEN Scanner

mai multe etape, trebuie să se țină seamă de momentul aplicării forțelor de precomprimare și încărcărilor respective; în acest caz, calculul se poate face cu relațiile

$$\Delta\sigma_{\overline{\varphi}} = n_p \Sigma \overline{\varphi}_i \sigma_{bp,i} \qquad \text{(XIII.63)}$$

$$\sigma_a = n_a \Sigma \overline{\varphi}_i \sigma_{ba,i} \qquad \text{(XIII.64)}$$

în care: $\overline{\varphi}_i$ este valoarea caracteristicii deformației în timp a betonului, corespunzătoare momentului aplicării încărcării respective;

$\sigma_{bp,i}$ — efortul unitar normal în fibra de beton de la nivelul centrului de greutate al armăturii pretensionate considerate, datorită acțiunii forței de precomprimare și a încărcărilor permanente sau temporare de lungă durată aplicate efectiv în fiecare etapă în parte (se consideră cu semnul + pentru compresiune și cu semnul — pentru întindere);

$\sigma_{ba,i}$ — idem, în fibra de beton de la nivelul centrului de greutate al armăturii nepretensionate considerate.

În cazul precomprimării în etape, pentru determinarea pierderilor de tensiune dintr-o armătură pretensionată într-o etapă dată, caracteristicile deformației în timp a betonului corespunzătoare eforturilor unitare de compresiune în fibra de beton de la nivelul armăturii considerate, datorită acțiunii armăturilor pretensionate și încărcărilor exterioare acționînd în etapele anterioare, se înmulțesc cu coeficienții de reducere dați în tabela XIII.11, în funcție de intervalul de timp în zile, dintre etapele respective.

În acest mod se ține seama de faptul că o parte din deformația în timp a betonului, corespunzătoare efectului solici-

Tabela XIII.11

Coeficienți $k_{\overline{\varphi}}$ pentru cazul precomprimării în etape

Durata în zile dintre etapele de precomprimare	2	10	20	30	45	60	90	180	360 (1 an)	1080 (3 ani)
$k_{\overline{\varphi}}$	1,00	0,67	0,63	0,60	0,57	0,54	0,50	0,40	0,20	—

Observație:

Pentru durate intermediare, valorile coeficienților din tabela XIII.11. se vor obține prin interpolare.

Scanned with OKEN Scanner

tărilor dintr-o etapă anterioară, a avut deja loc în intervalul de timp dintre cele două etape.

Valorile caracteristicii deformației în timp $\overline{\varphi}_t$, în funcție de
- dozajul de ciment (RIM sau portland fără adaosuri);
- raportul a/c;
- mărimea efortului unitar în raport cu rezistența betonului la data încărcării, σ_b/R;
- rezistența betonului la data încărcării în raport cu rezistența betonului la 28 zile, R/R_{28};
- umiditatea relativă U, a mediului în care se păstrează elementul;
- dimensiunea minimă b, a secțiunii transversale a elementului,

se pot obține prin multiplicarea valorilor de bază φ_0, din tabela VI.21 din cap VI (considerate pentru $\frac{R}{R_{28}} = 1{,}0$; $\frac{\sigma_b}{R} < 0{,}5$; $U = 50$—60% și $b > 10$ cm), cu toți coeficienții k_1, k_2, k_3, k_4 din tabela VI.22.

$$\overline{\varphi} = k_1 k_2 k_3 k_4 \varphi_0. \qquad \text{(XIII.65)}$$

Valoarea deformației specifice în timp a betonului datorită contracției $\overline{\varepsilon}_c$ se determină cu relația

$$\overline{\varepsilon}_c = k_3 k_4 k_c \varepsilon_c \qquad \text{(XIII.66)}$$

în care:

$\varepsilon_c = 2{,}5 \times 10^{-4}$ este valoarea de bază a deformației specifice a betonului datorită contracției;

$k_c = 0{,}8$ — pentru elemente de beton precomprimat cu armătură preîntinsă;

$k_c = 0{,}6$ — pentru elemente de beton precomprimat cu armătură postîntinsă;

k_3 și k_4 — coeficienți având valorile din tabela VI.22 din cap. VI.

Observație. În cazul utilizării altor cimenturi decît RIM sau portland fără adaosuri, precum și în cazul utilizării unor alte regimuri de întărire decît întărirea normală sau cu aburire, valorile corespunzătoare $\overline{\varphi}$ se determină pe cale experimentală.

Valoarea raportului a/c se poate determina din relația

$$\frac{a}{c} = \frac{1}{\frac{R_b}{K R_c} + 0{,}5}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: R_b este marca betonului;
R_c — marca cimentului;
K — un coeficient egal cu 0,5 cînd se folosesc agregate de balastieră și egal cu 0,55 cînd se folosesc agregate din piatră spartă.

În lipsa altor indicații sau a unor rezultate experimentale, valorile raportului R/R_{28}, în funcție de vîrsta betonului (durata de la turnare), se pot lua din tabela XIII.12.

Tabela XIII.12

Valorile raportului R/R_{28} în funcție de vîrsta betonului

Vîrsta betonului în zile de la turnare	10 — 14	28	90	180
R/R_{28}	0,6 — 0,7	1,0	1,1	1,2

În cazul accelerării întăririi betonului prin aburire, se poate considera că valoarea raportului R/R_{28} este egală cu 0,6 imediat după aburire; pentru determinarea în continuare a valorii raportului R/R_{28} cu ajutorul tabelei XIII.12 se vor adăuga 10 zile la vîrsta efectivă a betonului.

4. Relații generale de calcul

Eforturile unitare care apar în faza finală în secțiunea unui element de beton precomprimat se calculează după cum se arată în continuare.

— Într-o fibră oarecare de beton la distanța y de la centrul de greutate al secțiunii

$$\sigma_b = \frac{\bar{N}_0}{A_i} + \frac{\bar{N}_0 \bar{e}_0 y}{I_i} + \frac{My}{I_i} \qquad \text{(XIII.67)}$$

unde M este momentul încărcărilor exterioare.

— În armătura pretensionată

$$\sigma_p = \sigma_0 - n_p \sigma_{bp} \qquad \text{(XIII.68)}$$

în care σ_{bp} este efortul unitar din fibra de beton de la nivelul armăturii pretensionate considerate.

La elementele mixte se consideră că acțiunea precomprimării și a încărcărilor exterioare aplicate înainte de intrarea în lucru a betonului nesupus comprimării se exercită numai

Scanned with OKEN Scanner

asupra betonului precomprimat din secțiune, iar acțiunea încărcărilor exterioare aplicate ulterior se consideră că se exercită asupra întregii secțiuni ideale.

5. Exemplu de calcul

Exemplul XIII.10. Să se calculeze eforturile unitare de calcul în faza finală $\overline{\sigma_0}$ în armăturile pretensionate ale unei grinzi de 12,00 m deschidere, la mijlocul deschiderii. Grinda se execută din beton B 500, iar secțiunea transversală a grinzii, la mijlocul deschiderii, este cea din fig. XIII.4, cu deosebirea că fasciculele 1, 4 și 5 sînt alcătuite din 32 ∅ 5 mm; fasciculele de armătură se pretensionează în două etape la eforturile unitare de calcul σ_0, în secțiunea considerată, după cum rezultă din tabela XIII.13.

Tabela XIII.13

Ordinea de pretensionare

Nr. fasciculului	Etapa de pretensionare	Rezistența betonului la precomprimare	A_{pi} cm²	σ_{0i} kgf/cm²	N_{0i} kgf
3	I	300	4,70	11 390	53 500
1, 4, 5	II	500	18,80	11 450	215 500
2	II	500	2,35	11 390	26 750

După trei luni de la turnare grinda este solicitată de încărcările permanente de lungă durată, reprezentînd un moment încovoietor, în secțiunea considerată, $M_{gd}=32$ tfm.

Efortul unitar de calcul în faza finală se stabilește cu ajutorul relației

$$\overline{\sigma_0} = \sigma_0 - (\Delta\sigma_r + \Delta\sigma_\varphi).$$

Pierderi de tensiune datorită relaxării

$$\Delta\sigma_r = 0{,}08\ \sigma_0.$$

Fasciculele 2 și 3

$$\Delta\sigma_r = 0{,}08 \times 11\,390 = 910 \text{ kgf/cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Fasciculele *1*, *4* și *5*

$$\Delta\sigma_r = 0{,}08 \times 11\,450 = 915 \text{ kgf/cm}^2.$$

Pierderi de tensiune datorită contracției și curgerii lente a betonului

Caracteristicile geometrice ale secțiunii (conform exemplului de calcul din tabela XIII.3)

$$A_i = 3\,082 \text{ cm}^2;\ d = 65 \text{ cm};\ I_i = 5\,681\,000 \text{ cm}^4;$$
$$W_0 = 87\,500 \text{ cm}^3;\ W_0' = 103\,300 \text{ cm}^3.$$

Eforturile unitare în fibrele de beton de la nivelul centrelor de greutate ale diverselor grupuri de fascicule pretensionate, în cele două etape, luînd în considerație și încărcarea datorită greutății proprii a grinzii ($M_{gpr} = 14$ tfm) rezultă din tabela (XIII.14). Aceste eforturi unitare sînt calculate cu valorile normate ale încărcărilor, respectiv ale eforturilor de precomprimare.

Tabela XIII.14

Eforturi unitare din precomprimare și încărcări permanente

Etapa	Încărcarea	Efortul unitar în centrul de greutate al fasciculelor		
		3	*1+4+5*	*2*
I	g_{pr}	—14,5		
	precomprimare (fasciculul *3*)	+50,2		
	Total	+35,7		
II	g_{pr}		—11,5	+12,0
	precomprimare (fasciculul *3*)		+43,5	—10,0
După aplicarea încărcării permanente de lungă durată	precomprimare (fasciculele *1, 4, 5, 2*)	+170,3	+151,7	+2,3
	g_{ld}	—33,2	—26,50	+27,6

Scanned with OKEN Scanner

— Caracteristica deformației în timp a betonului.

În lipsa unei indicații privind compoziția betonului se alege:

dozaj ciment RIM 200—450 kg/cm³,

agregate de balastieră

$$a/c = \frac{1}{\frac{R_b}{0{,}5R_c} + 0{,}5} = \frac{1}{\frac{500}{0{,}5 \times 400} + 0{,}5} \approx 0{,}35.$$

Din tabela VI.21, rezultă

$$\varphi_0 = 2{,}60.$$

Pentru etapa I, pretensionarea fasciculelor $3\left(\frac{R}{R_{28}} = \frac{300}{500} = 0{,}6\right)$

$$\bar{\varphi}_I = 1{,}3 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 2{,}6 = 3{,}38.$$

Pentru etapa II, pretensionarea celorlalte fascicule $\left(\frac{R}{R_{28}} = \frac{500}{500} = 1{,}0\right)$

$$\bar{\varphi}_{II} = 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 2{,}6 = 2{,}6.$$

Pentru etapa de încărcare cu greutatea permanentă de lungă durată $\left(\frac{R}{R_{28}} = \frac{600}{500} = 1{,}2\right)$

$$\varphi_{gld} = 0{,}75 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 2{,}6 = 1{,}95.$$

— Pierderile de tensiune datorite contracției și curgerii lente a betonului în diferitele fascicule.

Relația generală de calcul

$$\Delta\sigma_{\bar{\varphi}} = n_p \Sigma \bar{\varphi}_i \sigma_{bp,i}.$$

Pentru fasciculele 3

$$\sigma_{\bar{\varphi}_3} = 4{,}75[3{,}38 \times 35{,}7 + 2{,}6 \times 170{,}3 - 1{,}95 \times 33{,}2] = 2\,330 \text{ kgf/cm}^2.$$

Pentru pierderile de tensiune din fasciculele *1*, *4*, *5* și *2* se ia în considerație efectul pretensionării fasciculelor 3 și a greutății proprii, ținînd seama și de deformațiile în timp ale betonului intervenite în cele circa 20 zile (intervalul dintre etapa I și II de precomprimare), prin înmulțirea caracteristicii deformației în timp corespunzătoare φ_i, cu coeficientul de reducere $k_{\bar{\varphi}}$ din tabela XIII.11

$$k_{\bar{\varphi}} = 0{,}63.$$

În consecință

$$\Delta\sigma_{\bar{\varphi}\,1,4,5} = 4{,}75[0{,}63 \times 3{,}38(-11{,}5 + 43{,}5) + 2{,}6 \times 151{,}7 - 1{,}95 \times \times 26{,}5] = 1\,950 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{\bar{\varphi}_2} = 4{,}75[0{,}63 \times 3{,}38(12{,}0 - 10{,}0) + 2{,}6 \times 2{,}3 + 1{,}95 \times 27{,}6] = = 385 \text{ kgf/cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pierderi de tensiune totale, în timp
Fasciculele *3*

$$\Delta\sigma = 910 + 2\,330 = 3\,240 \text{ kgf/cm}^2.$$

Fasciculele *1, 4, 5*

$$\Delta\sigma = 915 + 1\,950 = 2\,865 \text{ kgf/cm}^2.$$

Fasciculul *2*

$$\Delta\sigma = 910 + 385 = 1\,295 \text{ kgf/cm}^2.$$

Eforturile unitare de calcul în faza finală
Fasciculele *3*

$$\bar{\sigma}_0 = 11\,390 - 3\,240 = 8\,150 \text{ kgf/cm}^2.$$

Fasciculele *1, 4, 5*

$$\bar{\sigma}_0 = 11\,450 - 2\,865 = 8\,585 \text{ kgf/cm}^2.$$

Fasciculul *2*

$$\bar{\sigma}_0 = 11\,390 - 1\,295 = 10\,095 \text{ kgf/cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

XIV

CALCULUL ELEMENTELOR DE BETON PRECOMPRIMAT LA STAREA LIMITĂ DE REZISTENȚĂ ȘI STABILITATE (FLAMBAJ)

A. PRINCIPII GENERALE

Calculul la starea limită de rezistență a elementelor de beton precomprimat se efectuează cu relațiile de calcul pentru elemente obișnuite de beton armat, ținînd însă seamă de faptul că efortul unitar din armătura pretensionată în zona întinsă a secțiunii, σ_l, este de regulă mai mic decît rezistența de calcul a acesteia, respectiv

$$\sigma_l = m_p R_p \qquad \text{(XIV.1)}$$

în care: σ_l este efortul unitar din armătura pretensionată din zona întinsă în starea limită de rezistență;

R_p — rezistența de calcul a armăturii pretensionate conform tabelei XI.5;

$m_p \leqslant 1{,}0$ — coeficientul condițiilor de lucru ale armăturii pretensionate din zona întinsă, care exprimă gradul de utilizare al acesteia în starea limită de rezistență.

Coeficientul m_p are valori variabile în funcție de caracteristicile mecanice ale armăturii pretensionate și ale betonului, de forma secțiunii elementului și dispoziția armăturii în secțiune, de modul de realizare a armăturii (preîntinsă sau postîntinsă), de condițiile de aderență dintre armătură și beton, precum și de cantitatea de armătură pretensionată din secțiune.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru calculul elementelor solicitate la întindere centrică sau la întindere excentrică cu excentricitate mică, m_p se ia în considerație în toate cazurile cu valoarea de calcul

$$m_p = 1{,}0. \qquad \text{(XIV.2)}$$

Pentru calculul elementelor solicitate la încovoiere, compresiune excentrică cu excentricitate mare sau întindere excentrică cu excentricitate mare, m_p se ia în considerație cu următoarele valori de calcul:

— armătura pretensionată are rezistența normată egală cu limita de curgere

$$m_p = 1{,}0; \qquad \text{(XIV.3)}$$

— armătura pretensionată are rezistența normată egală cu rezistența la tracțiune (de exemplu sîrmă SBP)

$$m_p = f(\varepsilon_l). \qquad \text{(XIV.4)}$$

În relația (XIV.4), ε_l este deformația specifică a armăturii pretensionate din zona întinsă în starea limită de rezistență. Capacitatea portantă a elementului se consideră epuizată o dată cu cedarea betonului zonei comprimate, corespunzînd atingerii deformației specifice limită la compresiune din încovoiere a betonului în fibra extremă a zonei comprimate. Valoarea ε_l rezultă din condiția de compatibilitate a deformațiilor din secțiune în starea limită de rezistență definită anterior.

Pentru elementele care satisfac următoarele condiții:

— elementul este de secțiune dreptunghiulară, secțiune T, I, casetată sau orice altă secțiune reductibilă la unul dintre tipurile enumerate;

— armătura pretensionată are rezistența normată mai mare decît 10 000 kgf/cm²;

— armătura pretensionată din zona întinsă este repartizată pe mai puțin decît 30% din înălțimea grinzii și poate fi considerată în consecință concentrată în centrul ei de greutate;

— înălțimea x a zonei comprimate este mai mică sau egală cu $0{,}3\,h_0$,

se poate evita scrierea explicită a condiției de compatibilitate a deformațiilor, utilizînd pentru determinarea valorii coeficientului m_p expresia simplificată

$$m_p = 1 - k\frac{A_{pk}}{bh_0}\frac{R_p}{R_l} \qquad \text{(XIV.5)}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: $k=0{,}30$ pentru armături preîntinse;
$k=0{,}60$ pentru armături postîntinse;

A_{pk} este fracțiunea din armătura pretensionată situată în zona întinsă care echilibrează, în starea limită de rezistență, compresiunea preluată de betonul din porțiunea de lățime b a zonei comprimate (haşurat în fig. XIV.1);

b — lățimea zonei comprimate la nivelul axei neutre;

h_0 — înălțimea utilă a secțiunii măsurată din centrul de greutate al armăturii pretensionate din zona întinsă.

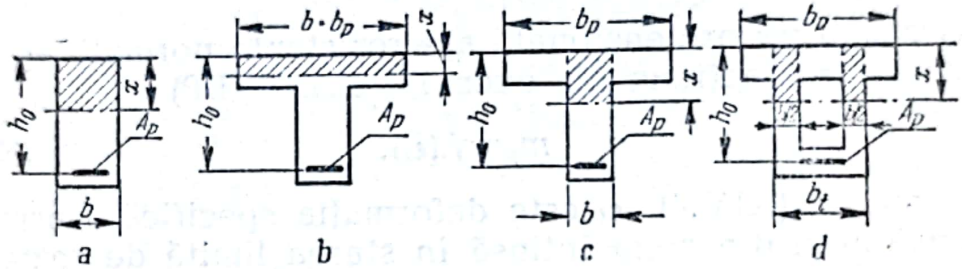


Fig. XIV.1.

Pentru secțiuni dreptunghiulare simplu armate

$$m_p = 1 - k\frac{A_p}{bh_0}\frac{R_p}{R_l}. \qquad \text{(XIV.6)}$$

Pentru cazul general al elementelor solicitate de moment încovoietor și forță axială, avînd secțiunea cu întreaga placă în zona comprimată și cu armătură pretensionată și nepretensionată atît în zona întinsă cît și în zona comprimată (fig. XIV.2), se scrie ecuația de proiecție pe axa elementului ținînd seamă de definiția lui A_{pk}

$$bx\,R_l = A_{pk}\sigma_l = \pm N + A_p\,\sigma_l + A_a R_a - 0{,}8(b_p - b)h_p R_l - A'_p\sigma'_l - A'_a R_a. \qquad \text{(XIV.7)}$$

Înlocuind în relația (XIV.5) valoarea A_{pk} rezultată din ecuația (XIV.7) și scriind $\sigma_l = m_p R_p$ se obține

$$m_p = 1 - k\frac{\pm N + A_p m_p R_p + A_a R_a - 0{,}8(b_p - b)h_p R_l - A'_p\sigma'_l - A'_a R_a}{m_p R_p} \times$$

$$\times \frac{R_p}{bh_0 R_l}$$

Scanned with OKEN Scanner

și rezolvînd în raport cu m_p

$$m_p = \frac{1 - k\alpha_p}{2} + \sqrt{\left(\frac{1 - k\alpha_p}{2}\right)^2 + k\left[0{,}8\left(\frac{b_p}{b_0} - 1\right)\frac{h_p}{h_0} + \alpha'_p - (\alpha - \alpha') \mp \frac{N}{bh_0R_i}\right]} \quad \text{(XIV.8)}$$

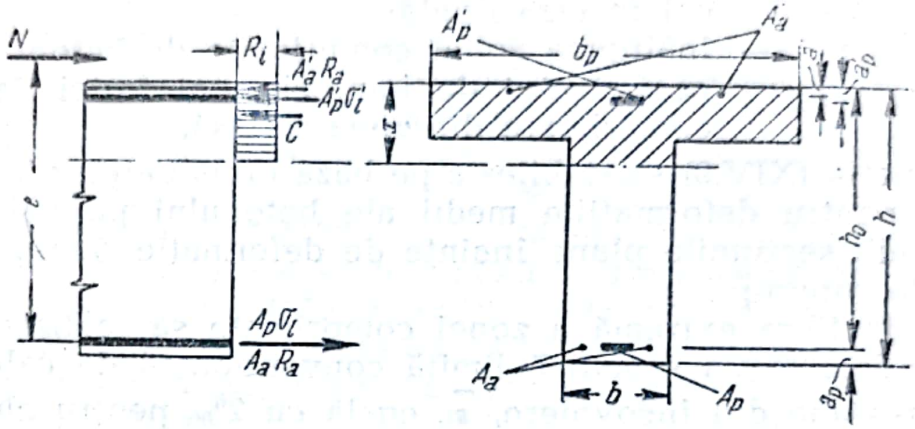


Fig. XIV.2.

unde

$$\alpha_p = \frac{A_p}{bh_0}\frac{R_p}{R_i}; \qquad \alpha = \frac{A_a R_a}{bh_0 R_i};$$

$$\alpha'_p = \frac{A'_p\sigma'_l}{bh_0R_i}; \qquad \alpha' = \frac{A'_a R_a}{bh_0 R_i}.$$

Pentru forța axială N, semnul de deasupra se referă la cazul în care N este compresiune.

În scrierea relațiilor precedente, ținînd seamă de importanța redusă a armăturilor nepretensionate din zona întinsă a elementelor de beton precomprimat, acestea s-au considerat concentrate în centrul de greutate al armăturilor pretensionate din zona întinsă.

În cazul elementelor care nu satisfac condițiile specificate, este necesară scrierea explicită a condiției de compatibilitate a deformațiilor în secțiune pentru determinarea deformației specifice a armăturii pretensionate din zona întinsă în starea limită de rezistență, ε_l, din relația (XIV.4)

$$\varepsilon_l = m_0\bar{\varepsilon}_0 + \frac{h_0 - x}{x}\bar{\varepsilon}_i \qquad \text{(XIV.9)}$$

în care: ε_l este deformația specifică a armăturii pretensionate în momentul în care deformația speci-

Scanned with OKEN Scanner

fică a betonului în fibra extremă a zonei comprimate este $\bar{\varepsilon}_l$;

$\bar{\varepsilon}_l$ — deformația specifică limită convențională de calcul la compresiune din încovoiere a betonului;

$\bar{\varepsilon}_0$ — deformația specifică a armăturii pretensionate corespunzătoare efortului unitar de calcul în faza finală;

x — înălțimea zonei comprimate de beton;

$m_0=0{,}9$ — coeficientul de imprecizie al forței de precomprimare din zona întinsă.

Ecuația (XIV.9) se stabilește pe baza următoarelor ipoteze:

— pentru deformațiile medii ale betonului pe înălțimea secțiunii, secțiunile plane înainte de deformație rămîn plane pînă la rupere;

— în fibra extremă a zonei comprimate se realizează în beton deformația specifică limită convențională de calcul la compresiune din încovoiere, $\bar{\varepsilon}_l$, egală cu $2‰$ pentru elementele cu armătură preîntinsă și cu $1‰$ pentru elementele cu armătură postîntinsă;

— betonul întins nu preia eforturi;

— eforturile unitare din zona comprimată de beton sînt egale cu valoarea R_l pe întreaga înălțime a acestei zone.

Diferențierea valorilor $\bar{\varepsilon}_l$ în funcție de tipul armăturii pretensionate ține seamă de influența condițiilor de aderență dintre armătură și betonul înconjurător.

Într-adevăr, ca și în cazul elementelor de beton armat, se poate scrie, luînd drept punct de pornire momentul în care deformația specifică a armăturii pretensionate $\bar{\varepsilon}_0$ corespunde efortului unitar de calcul în faza finală $\bar{\sigma}_0$,

$$\psi=\frac{\Delta\varepsilon_{pm}}{\Delta\varepsilon_l}$$

în care: $\Delta\varepsilon_{pm}$ este variația alungirii specifice medii a armăturii pretensionate între două fisuri, în starea limită de rezistență;

$\Delta\varepsilon_l$ — variația alungirii specifice a armăturii pretensionate în dreptul fisurii, în starea limită de rezistență.

În consecință se poate scrie

$$\varepsilon_l=m_0\bar{\varepsilon}_0+\Delta\varepsilon_l=m_0\bar{\varepsilon}_0+\frac{\Delta\varepsilon_{pm}}{\psi}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Dar

$$\Delta\varepsilon_{pm} = \frac{h_0 - x}{x}\,\bar{\varepsilon}_l^n$$

unde $\bar{\varepsilon}_l^n$ este valoarea normată a deformației specifice limită la compresiune din încovoiere a betonului.

Ca urmare

$$\varepsilon_l = m_0\bar{\varepsilon}_0 + \frac{h_0 - x}{x}\,\frac{\bar{\varepsilon}_l^n}{\psi}.$$

Pe baza datelor experimentale se pot lua în considerație următoarele valori medii:

— armături preîntinse $\psi = 0{,}5$;

— armături postîntinse $\psi = 1{,}0$.

Pentru simplificare se renunță la scrierea explicită a coeficientului ψ în relațiile de calcul, introducînd pentru deformația specifică limită a betonului la compresiune din încovoiere, valori convenționale de calcul diferențiate după tipul armăturii utilizate

$$\bar{\varepsilon}_l = \frac{\bar{\varepsilon}_l^n}{\psi}.$$

În fig. XIV.3 s-au reprezentat schemele de calcul pentru deformațiile specifice și eforturile unitare în starea limită de rezistență, pentru elemente cu armătură preîntinsă și postîntinsă.

Coeficientul condițiilor de lucru al armăturii pretensionate m_p rezultă pe baza diagramei caracteristice de calcul a oțelului utilizat

$$m_p = \frac{\sigma_l}{R_p} = f(\varepsilon_l). \qquad \text{(XIV.10)}$$

În relațiile de calcul în starea limită de rezistență, armătura pretensionată din zona comprimată a secțiunii se ia în considerație cu efortul unitar σ_l' determinat ținîndu-se seamă de scăderea de efort unitar datorită deformației specifice a betonului la compresiune. Efortul unitar σ_l' se poate considera cu valorile din tabela XIV.1.

Efortul unitar σ_l' poate fi pozitiv (compresiune) sau negativ (întindere).

Pentru armăturile la care $a_p' \geqslant \frac{x}{2}$, unde a_p' este distanța de la marginea comprimată a secțiunii pînă la centrul de greutate al armăturii pretensionate considerate, se neglijează termenul 3 000 în relațiile din tabela XIV.1.

Scanned with OKEN Scanner

Deformații specifice
Eforturi unitare
Armătura postîntinsă
Armătura preîntinsă

Fig. XIV.3.

Tabela XIV.1

Valorile efortului unitar σ'_l în armătura pretensionată din zona comprimată a secțiunilor de beton precomprimat în starea limită de rezistență

Nr. crt.	Tipul armăturii pretensionate din zona comprimată	Pentru calcul		
		la transfer	la transport sau montaj	în exploatare
1	Armături preîntinse	$(3\,000-m_0\sigma_0)$	$(3\,000-m_0\sigma_0)$ respectiv	$(3\,000-m_0\overline{\sigma_0})$ respectiv
2	Armături postîntinse	$(-m_0\sigma_p)$	$(3\,000-m_0\sigma'_0)$	$(3\,000-m_0\overline{\sigma'_0})$

σ_0 respectiv σ'_0 este efortul unitar de calcul din armătura pretensionată, în faza inițială;

$\overline{\sigma_0}$ respectiv $\overline{\sigma'_0}$ — efortul unitar de calcul din armătura pretensionată în faza finală;

σ_p — efortul unitar din armătura pretensionată după transfer;

$m_0=1{,}1$ — coeficientul de imprecizie al forței de precomprimare.

În cazurile excepționale în care transportul sau montajul elementelor cu armături postîntinse se face înaintea injectării canalelor, σ'_l se stabilește ca pentru transfer.

Rezistențele de calcul pentru beton se iau cu valorile din tabela XI.4, ținînd seamă de coeficienții suplimentari ai condițiilor de lucru pentru elemente solicitate la compresiune centrică sau excentrică, sub acțiunea încărcărilor exterioare.

Pentru calculul elementelor de beton precomprimat la transfer, transport sau montaj, rezistențele de calcul ale betonului se iau în funcție de rezistența pe cub a acestuia la data respectivă, dar nu mai mari decît cele corespunzătoare mărcii prescrise.

Pentru calculul la starea limită de rezistență a elementelor cu zona comprimată alcătuită din betoane de calități diferite, fiecare calitate de beton se introduce în calcul cu rezistența corespunzătoare.

Lățimea aripilor plăcii din zona comprimată a elementelor cu secțiunea T, I sau casetată, solicitate la încovoiere, compresiune excentrică sau întindere excentrică, se determină

Scanned with OKEN Scanner

ca și în cazul elementelor de beton armat și se consideră în calculul la starea limită de rezistență multiplicată cu coeficientul 0,8.

Armăturile nepretensionate din secțiunile elementelor de beton precomprimat, se introduc în calcul cu rezistențele lor conform tabelei I.5.

În cazul dispunerii armăturilor pretensionate după trasee curbe sau poligonale, eforturile din aceste armături în calculul la starea limită de rezistență în secțiuni normale se înmulțesc cu cos α respectiv cos α', unde α și α' reprezintă unghiurile de înclinare ale armăturilor pretensionate față de axa longitudinală a elementului în secțiunea normală considerată.

Relațiile de calcul la starea limită de rezistență a elementelor de beton precomprimat, solicitate sub acțiunea încărcărilor exterioare la încovoiere, compresiune excentrică cu excentricitate mare sau întindere excentrică cu excentricitate mare, se stabilesc pentru următoarele două cazuri:

a) forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de părți diferite, față de axa neutră; acest caz se întîlnește, în mod curent, la transfer, transport sau montaj și în mod excepțional în exploatare (de exemplu secțiuni solicitate în exploatare de momente încovoietoare de semne contrare, în diferite ipoteze de încărcare);

b) forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de aceeași parte a axei neutre; acest caz se întîlnește, în mod curent, în exploatare și în mod excepțional la transport și montaj.

În relațiile de calcul la starea limită de rezistență se iau în considerație următorii coeficienți ai condițiilor de lucru:

— elemente prevăzute cu armătură pretensionată a cărei rezistență normată este egală cu rezistența la tracțiune (de exemplu sîrmă SBP)

$m=0{,}8$ — pentru elementele solicitate la întindere centrică sau excentrică cu excentricitate mică, precum și pentru elementele solicitate la încovoiere, compresiune excentrică cu excentricitate mare sau întindere excentrică cu excentricitate mare, în condițiile cazului b, menționat anterior;

$m=1{,}0$ — pentru celelalte elemente;

Scanned with OKEN Scanner

— elemente prevăzute cu armătură pretensionată a cărei rezistență este egală cu limita de curgere

$m=1{,}0$ — pentru toate cazurile.

Pentru elementele solicitate în exploatare la încovoiere sau întindere excentrică cu excentricitate mare, se recomandă ca înălțimea x a zonei comprimate în starea limită de rezistență, să fie mai mică decît $0{,}3\ h_0$, pentru o utilizare rațională a armăturii pretensionate.

În cazurile în care $x>0{,}3\ h_0$, este necesară de regulă modificarea secțiunii elementului; în mod excepțional, pe bază de justificări speciale constructive sau tehnico-economice, se pot folosi secțiuni pentru care $0{,}3\ h_0<x\leqslant 0{,}55\ h_0$. Cînd $x>0{,}55\ h_0$ se impune modificarea secțiunii elementului sau sporirea mărcii betonului.

În cazul în care, din considerații constructive, sau din condiții de calcul — de exemplu ca urmare a verificării la starea limită de apariție a fisurilor — se prevede în zona întinsă a secțiunii o cantitate mai mare de armătură pretensionată decît rezultă din calculul la starea limită de rezistență, la verificarea condițiilor $x\leqslant 0{,}3\ h_0$, respectiv $x\leqslant 0{,}55\ h_0$, se va lua în considerație numai acea parte a armăturii pretensionate care este necesară în conformitate cu condițiile de calcul la rezistență.

În calculul elementelor de beton precomprimat comprimate centric sau excentric se ține seamă la acțiunea încărcărilor exterioare de influența flexibilității în conformitate cu prevederile pentru elemente de beton armat.

Efectul flexibilității elementelor de beton precomprimat sub acțiunea forței de precomprimare nu se ia în considerație în cazul elementelor cu armături preîntinse și a elementelor cu armături postîntinse așezate în canale amenajate în interiorul secțiunii elementului.

În cazul elementelor cu armături postîntinse așezate în exteriorul secțiunii, se poate neglija efectul flexibilității sub acțiunea forței de precomprimare, dacă distanța dintre punctele de fixare a armăturii în lungul elementului nu depășește $35\ i$, unde i este raza de girație a secțiunii pe direcția pe care poate avea loc pierderea stabilității.

Elementele mixte se calculează la starea limită de rezistență ca elemente obișnuite de beton precomprimat.

Porțiunea de beton precomprimat din secțiunea elementelor mixte se calculează la starea limită de rezistență la trans-

Scanned with OKEN Scanner

fer, transport și montaj, precum și sub acțiunea încărcărilor aplicate înainte de intrarea în lucru a betonului nesupus precomprimării.

B. CALCULUL LA STAREA LIMITĂ DE REZISTENȚĂ LA TRANSFER

a. *Relații de calcul*

Elementele de beton precomprimat se calculează la starea limită de rezistență la transfer ca elemente de beton armat după cum urmează (fig. XIV.4):

— se determină poziția axei neutre cu ajutorul relației (XIV.11)

$$M=\left[bx\left(h_0'-\frac{x}{2}\right)+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0'-\frac{h_p}{2}\right)-A_g\,(h_0'-a_p)\right]R_i^t+$$
$$+A_p\sigma_i'(h_0'-a_p)+A_aR_a(h_0'-a) \qquad \text{(XIV.11)}$$

în care: A_g este aria golurilor în care se introduce armătura pretensionată;

A_p — aria armăturii pretensionate din zona comprimată a secțiunii la transfer;

A_a — aria armăturii nepretensionate din zona comprimată a secțiunii la transfer;

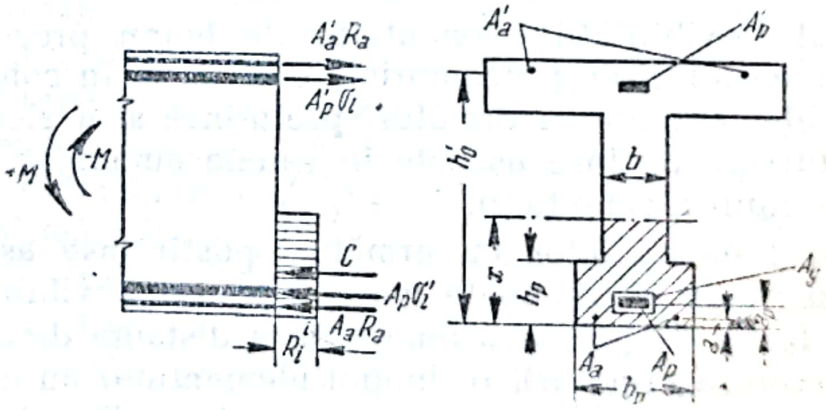


Fig. XIV.4.

M — momentul încovoietor datorită încărcării exterioare; se consideră cu semnul plus dacă are ca efect creșterea eforturilor unitare de compresiune în zona comprimată a secțiunii;

— armătura din zona întinsă a secțiunii la transfer trebuie să satisfacă condiția

$$A'_p\sigma_l + A'_aR_a \geqslant [bx + 0{,}8\,(b_p - b)\,h_p - A_g]\,R^i_l + A_p\sigma'_l + A_aR_a \qquad \text{(XIV.12)}$$

în care: A'_p este aria secțiunii armăturii pretensionate din zona întinsă a secțiunii la transfer;

A'_a — aria secțiunii armăturii nepretensionate din zona întinsă a secțiunii la transfer.

Dacă înălțimea zonei comprimate rezultată din relația (XIV.11) este mai mare decît $0{,}55\ h_0$, calculul se efectuează ca pentru elemente de beton armat solicitate la compresiune excentrică cu excentricitate mică.

Dacă secțiunea are armătură pretensionată în zona întinsă la transfer, σ_l se determină cu relația (XIV.8). În cazul în care $0{,}3\ h_0 < x \leqslant 0{,}55\ h_0$, se permite în mod aproximativ utilizarea valorii σ_l rezultate din această relație pentru $x = 0{,}3\ h_0$.

Elementele de beton precomprimat la care centrul de aplicare al forței de precomprimare coincide cu centrul de greutate al secțiunii, se pot calcula la starea limită de rezistență la transfer cu ajutorul relației

$$A_bR^i_{pr} + A_p\sigma'_l + A_aR_a \geqslant 0 \qquad \text{(XIV.13)}$$

în care: A_b este aria secțiunii nete de beton a elementului (scăzînd golurile în care se introduce armătura pretensionată);

A_p — aria întregii armături pretensionate din secțiune;

A_a — aria întregii armături nepretensionate din secțiune.

În cazul elementelor cu armături postîntinse care se pretensionează succesiv, există posibilitatea ca în cursul precomprimării să apară o situație intermediară în care forța de precomprimare, deși are o valoare mai mică decît cea finală, se aplică cu o excentricitate atît de mare, încît solicitarea secțiunii este mai defavorabilă decît în situația finală, după pretensionarea tuturor armăturilor. De aceea, în acest caz, calculul trebuie efectuat în situațiile cele mai defavorabile posibile, în funcție de ordinea de pretensionare a armăturilor.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul XIV.1. În fig. XIV.5 se dă secțiunea unei pane de acoperiș. Se cere verificarea acestui element la transfer.

Scanned with OKEN Scanner

$$A_p = 10(3 \times 0{,}0707) = 2{,}12 \text{ cm}^2$$

$$A'_p = 2(3 \times 0{,}0707) = 0{,}424 \text{ cm}^2$$

$$a_p = \frac{4 \times 2{,}25 + 4 \times 4{,}50 + 2 \times 6{,}75}{10} = 4{,}05 \text{ cm}$$

$a'_p = 2{,}25$ cm; $A_g = 0$; $b_p = 12$ cm; $b = 5$ cm; $h_p \approx 6{,}75$ cm; $h'_0 = 37{,}75$ cm.

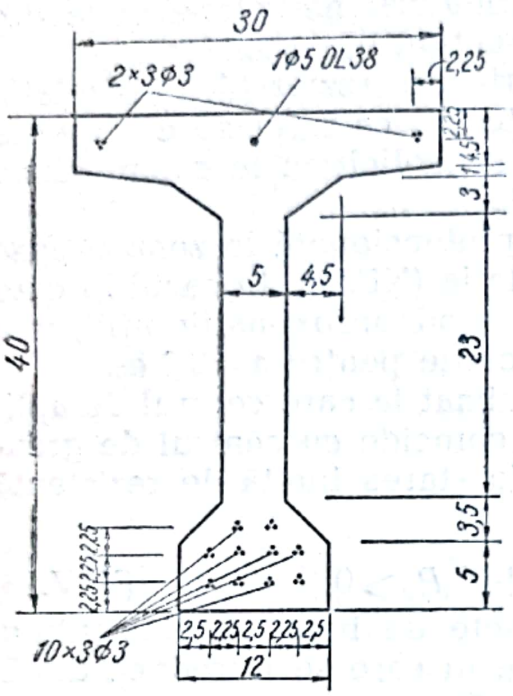


Fig. XIV.5.

Se utilizează sîrmă SBP II, deci

$$\sigma_0 = 0{,}7\, R''_p = 0{,}7 \times 16\,000 = 11\,200 \text{ kgf/cm}^2;$$

$$\sigma'_i = 3\,000 - m_0\,\sigma_0 = 3\,000 - 1{,}1 \times 11\,200 = -9\,320 \text{ kgf/cm}^2.$$

Transferul se efectuează atunci cînd betonul atinge 70% din marca finală (B 400), deci R^i_i rezultă din tabela XI.4 prin interpolare pentru B 280

$$R^i_i = 172 \text{ kgf/cm}^2.$$

Deoarece poziția armăturilor este aceeași în tot lungul elementului, secțiunea cea mai defavorabilă pentru verificarea la transfer, este la capătul elementului, unde momentul din greutatea proprie este nul.

În consecință relația (XIV.11) se scrie

$$\left[bx\left(h'_0 - \frac{x}{2}\right) + 0{,}8\,(b_p - b)\,h_p\,(h'_0 - \frac{h_p}{2})\right] R^i_i + A_p \sigma'_i\,(h'_0 - a_p) = 0$$

respectiv

$$\left[5x\left(37{,}75 - \frac{x}{2}\right) + 0{,}8\,(12 - 5)\;6{,}75\,(37{,}75 - 3{,}37)\right] 172 - 2{,}12 \times \times 9\,320\,(37{,}75 - 4{,}05) = 0$$

și rezultă

$$x = 17{,}80 \text{ cm} < 0{,}55\; h'_0 = 20{,}8 \text{ cm}.$$

Pentru verificarea armăturii din zona întinsă se aplică relația (XIV.12):

— pentru armătura din OL 38 $R_a = 2\,100$ kgf/cm²;

— pentru armătura din SBP $\sigma_i = m_p R_p$.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece $x > 0{,}3\ h_0' = 11{,}3$, se alege pentru m_p în mod aproximativ valoarea corespunzătoare pentru $x = 0{,}3\ h_0'$.

Din relația

$$\frac{x}{h_0} = \frac{m_p(1 - m_p)}{k}$$

rezultă

$$m_p = 0{,}5 + \sqrt{0{,}25 - k\frac{x}{h_0}}$$

respectiv

$$m_p = 0{,}5 + \sqrt{0{,}25 - 0{,}3 \times 0{,}3} = 0{,}90$$

și

$$\sigma_l = 0{,}90 \times 12\,800 = 11\,500 \text{ kgf/cm}^2.$$

În consecință $A_p' \sigma_l + A_a' R_a = 0{,}424 \times 11\,500 + 0{,}196 \times 2\,100 =$
$= 5\,270$ kgf.

Membrul drept al relației (XIV.12) se scrie

$[bx + 0{,}8\ (b_p - b)\ h_p]\ R_i^i + A_p \sigma_l' = [5 \times 17{,}80 + 0{,}8(12 - 5)6{,}75]172 -$
$- 2{,}12 \times 9\,300 = 2\,100$ kgf.

Deoarece $5\,270 > 2\,100$, armătura din zona întinsă este corespunzătoare.

Exemplul XIV.2. În fig. XIV.6 se dă secțiunea tălpii inferioare din beton precomprimat a unei ferme și se cere verificarea la transfer.

Deoarece precomprimarea se face respectînd permanent simetria, se aplică relația (XIV.13)

$$A_b = 22 \times 32 - 5\frac{3{,}14 \times 4{,}2^2}{4} = 635 \text{ cm}^2.$$

Precomprimarea se face cînd betonul are rezistența pe cub de 400 kgf/cm^2, deci

$$R_{pr}^i = 200 \text{ kgf/cm}^2.$$

Armătura pretensionată este alcătuită din cinci fascicule 12 ∅ 5 mm din *SBP* II.

$$A_p = 5 \times 2{,}35 = 11{,}75 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_p = 9\,600 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\sigma_l' = -m_0 \sigma_p = -1{,}1 \times 9\,600 =$$
$$= -10\,560 \text{ kgf/cm}^2.$$

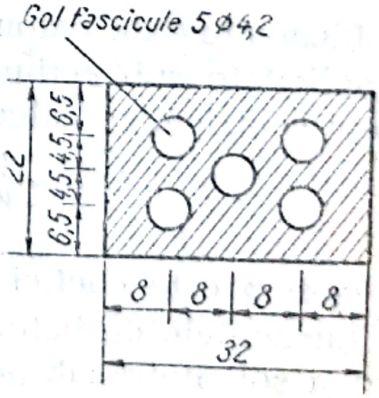


Fig. XIV.6.

Scanned with OKEN Scanner

În conformitate cu relația (XIV.13)

$$A_b R^i_{pr} + A_p \sigma'_l = 635 \times 200 - 11{,}75 \times 10\,560 = 127\,000 - 124\,000 =$$

$$= 3\,000 \text{ kgf} > 0.$$

C. CALCULUL LA STAREA LIMITĂ DE REZISTENȚĂ LA TRANSPORT SAU MONTAJ

Elementele de beton precomprimat se calculează la starea limită de rezistență la transport sau montaj după cum se arată în continuare.

a) Dacă forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de părți diferite față de axa neutră, calculul se efectuează cu relațiile (XIV.11) și (XIV.12).

b) Dacă forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de aceeași parte a axei neutre, calculul se face cu relațiile de la cap. XIV, D înlocuind R_i cu R^i_t.

D. CALCULUL LA STAREA LIMITĂ DE REZISTENȚĂ ȘI DE STABILITATE (FLAMBAJ), ÎN EXPLOATARE

1. Compresiune centrică

Elementele de beton precomprimat, precomprimate centric și solicitate sub acțiunea încărcărilor exterioare la compresiune centrică, se calculează cu ajutorul relației

$$N \leqslant \varphi (A_b R_{pr} + A_p \sigma'_l + A_a R_a) \qquad \text{(XIV.14)}$$

în care φ este coeficientul de flambaj conform tabelei IV.3.

Elementele de beton precomprimat, precomprimate excentric și solicitate sub acțiunea încărcărilor exterioare la compresiune centrică, se calculează ca elemente de beton precomprimat solicitate la compresiune excentrică.

Scanned with OKEN Scanner

În cadrul exemplului de calcul la compresiune excentrică cu excentricitate mică, se efectuează și calculul capacității portante la compresiune centrică.

2. Compresiune excentrică cu excentricitate mică

a. *Relații de calcul*

Elementele de beton precomprimat solicitate la compresiune excentrică se consideră că lucrează cu excentricitate mică dacă este respectată condiția

$$x > 0{,}55\, h_0 \qquad \text{(XIV.15)}$$

respectiv

$$\bar{e}_1' \leqslant \bar{e} \leqslant \bar{e}_2 \qquad \text{(XIV.16)}$$

în care: $\bar{e}$ este distanța de la forța exterioară N până la marginea mai puțin comprimată a secțiunii, stabilită, ținînd seamă de influența flexibilității;

$\bar{e}_1 = \dfrac{(h - x_0) A_b R_{pr} + A_p \sigma' a_p + A_p' \sigma_l' (h - a_p')}{A_b R_{pr} + A_p \sigma_l' + A_p' \sigma_l'}$ este distanța de la forța axială exterioară până la marginea mai puțin comprimată a secțiunii pentru cazul compresiunii centrice;

$\bar{e}_2 = a_p + \dfrac{S_c R_{pr} + 0{,}8 A_p' \sigma_l' (h_0 - a_p')}{1{,}25 A_c R_{pr} - 0{,}85 A_p R_\mu + A_p' \sigma_l'}$ este distanța de la forța axială exterioară până la marginea mai puțin comprimată a secțiunii pentru cazul $x = 0{,}55\, h_0$.

A_c este aria zonei comprimate a secțiunii pentru $x = 0{,}55\, h_0$;

S_c — momentul static al ariei zonei comprimate A_c în raport cu armătura A_p;

x_0 — distanța de la centrul de greutate al secțiunii până la marginea cea mai comprimată a secțiunii.

Calculul se efectuează cu relația (XIV.17), cu datele din fig. XIV.7,

$$N \leqslant N_1 \frac{\bar{e}_1 - \bar{e}_m}{\bar{e} - \bar{e}_m} \qquad \text{(XIV.17)}$$

respectînd condiția $N \leqslant \varphi N_1$

în care:

$$\bar{e}_m = \frac{N_1 \bar{e}_1 - N_2 \bar{e}_2}{N_1 - N_2} \qquad \text{(XIV.18)}$$

Scanned with OKEN Scanner

$N_1 = A_b R_{pr} + A_p \sigma_l' + A_p' \sigma_l'$ este forța axială capabilă pentru cazul compresiunii centrice;

$N_2 = 1{,}25\, A_c R_{pr} - 0{,}85\, A_p R_p + A_p' \sigma_l'$ este forța axială capabilă pentru cazul $x = 0{,}55\, h_0$;

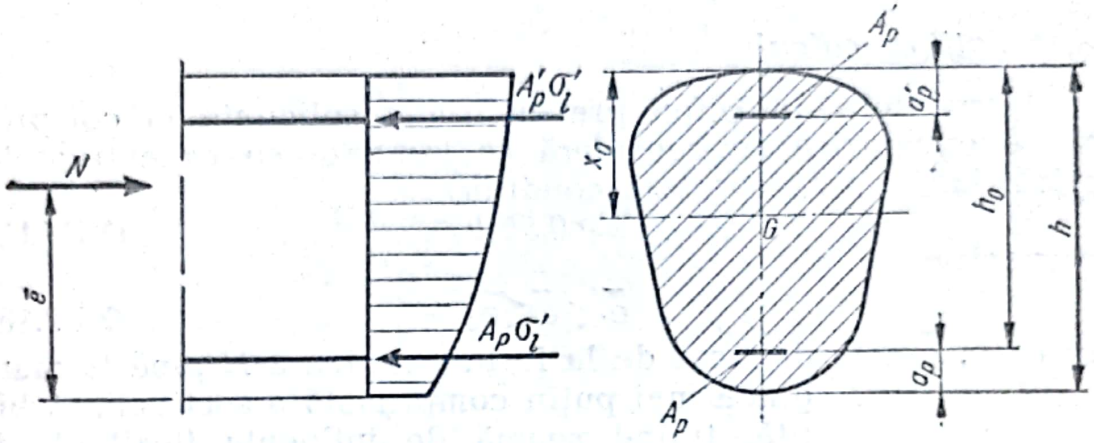


Fig. XIV.7.

b. *Exemplu de calcul*

Exemplul XIV.3. Fie secțiunea din fig. XIV.8, armată la partea superioară cu un fascicul 12 ∅ 5 mm și la partea inferioară cu două fascicule 12 ∅ 5 mm și solicitată de o forță axială aplicată cu o excentricitate de 50 cm față de marginea inferioară a secțiunii. Se cere verificarea secțiunii.

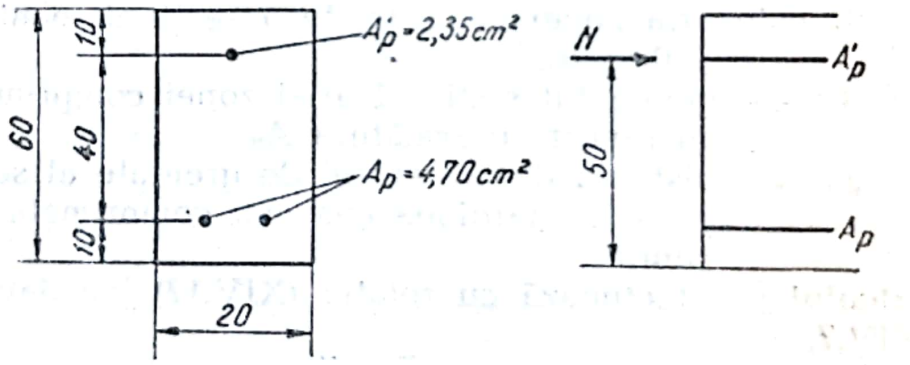


Fig. XIV.8.

Se cunosc: $b = 20$ cm; $h = 60$ cm; $h_0 = 50$ cm; $x_0 = 30$ cm; $a_p = 10$ cm; $a_p' = 10$ cm; $A_p = 4{,}70$ cm^2; $A_p' = 2{,}35$ cm^2; $e = 50$ cm.

Elementul se execută din beton B 400, deci $R_{pr} = 170$ kgf/cm^2.

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece latura elementului este sub 20 cm, rezistența de calcul se afectează de coeficientul condițiilor de lucru $m_b=0{,}85$

$$m_b R_{pr}=0{,}85\times 170=144{,}5 \text{ kgf/cm}^2.$$

Armătura pretensionată se execută din sîrmă SBP I, deci

$$R_p=13\,200 \text{ kgf/cm}^2.$$

Efortul unitar de calcul în faza finală din armătura pretensionată

$$\bar{\sigma}_0=\bar{\sigma}'_0=10\,000 \text{ kgf/cm}^2.$$

În consecință

$$\sigma'_l=3\,000-m_0\bar{\sigma}_0=3\,000-1{,}1\times 10\,000=-8\,000 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$\bar{e}_1=\frac{(h-x_0)A_bR_{pr}+A_p\sigma'_la_p+A'_p\sigma'_l(h_0-a'_p)}{A_bR_{pr}+A_p\sigma'_l+A'_p\sigma'_l}=$$

$$=\frac{30\times 20\times 60\times 144{,}5-4{,}70\times 8\,000\times 10-2{,}35\times 8\,000\times 50}{20\times 60\times 144{,}5-4{,}70\times 8\,000-2{,}35\times 8\,000}=33{,}3 \text{ cm};$$

$$\bar{e}_2=a_p+\frac{S_cR_{pr}+0{,}8A'_p\sigma'_l(h_0-a'_p)}{1{,}25A_cR_{pr}-0{,}85A_pR_p+A'_p\sigma'_l}=10+$$

$$+\frac{0{,}4\times 20\times 50^2\times 144{,}5-0{,}8\times 2{,}35\times 8\,000\times 40}{1{,}25\times 20\,(0{,}55\times 50)\times 144{,}5-0{,}85\times 4{,}70\times 13\,200-2{,}35\times 8\,000}=$$

$$=83{,}2 \text{ cm}.$$

Deoarece $\bar{e}_1<\bar{e}<\bar{e}_2$ sîntem în cazul compresiunii excentrice cu excentricitate mică

$$N_1=A_bR_{pr}+A_p\sigma'_l+A'_p\sigma'_l=20\times 60\times 144{,}5-4{,}70\times 8\,000-$$

$$-2{,}35\times 8\,000=116\,500 \text{ kgf}.$$

$$N_2=1{,}25\,A_cR_{pr}-0{,}85A_p\sigma_l+A'_p\sigma'_l=1{,}25\times 20\,(0{,}55\times 50)$$

$$\times 144{,}5-0{,}85\times 4{,}70\times 13\,200-2{,}35\times 8\,000=27\,500 \text{ kgf}.$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\bar{e}_m = \frac{N_1\bar{e}_1 - N_2'\bar{e}_2}{N_1 - N_2} = \frac{116\,500 \times 33{,}3 - 27\,500 \times 83{,}2}{116\,500 - 27\,500} = 17{,}9 \text{ cm}$$

$$N = N_1 \frac{\bar{e}_1 - \bar{e}_m}{\bar{e} - \bar{e}_m} = 116\,500 \frac{33{,}3 - 17{,}9}{50 - 17{,}9} = 55\,800 \text{ kgf.}$$

3. Întindere centrică

a. *Relații de calcul*

Elementele de beton precomprimat calculate la întindere centrică se calculează cu ajutorul relației

$$N \leqslant 0{,}8\ (A_p R_p + A_a R_a). \qquad \text{(XIV.19)}$$

La unele construcții interior static nedeterminate, de exemplu arce cu tiranți, există posibilitatea ca, din cauza alungirii exagerate a tirantului, construcția să cedeze înainte ca în armătura pretensionată să se fi atins rezistența de calcul. În acest caz se va stabili secțiunea armăturii din tirant, ținînd seamă de efortul unitar corespunzător alungirii maxime a tirantului care poate fi preluată de structură.

b. *Exemplu de calcul*

Exemplul XIV.4. Să se verifice în exploatare talpa inferioară a unei ferme (fig. XIV.6).

$$A_p = 5 \times 2{,}35 = 11{,}75 \text{ cm}^2$$

$$R_p = 12\,000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$N = 0{,}8 \times 11{,}75 \times 12\,000 = 112\,700 \text{ tf.}$$

4. Întindere excentrică cu excentricitate mică

Elementele de beton precomprimat solicitate la întindere excentrică se consideră că lucrează cu excentricitate mică dacă forța exterioară N este aplicată între centrele de greutate ale armăturilor pretensionate A_p și A_p'.

Calculul se efectuează cu relațiile (XIV.20) și (XIV.21), cu datele din fig. XIV.9.

$$N \leqslant \frac{0{,}8\ (S_p R_p + S_a R_a)}{e} \qquad \text{(XIV.20)}$$

$$N \leqslant \frac{0{,}8(S_p' R_p' + S_a' R_a)}{e'} \qquad \text{(XIV.21)}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: S_p este momentul static al secțiunii armăturii A'_p față de rezultanta eforturilor din armăturile A_p și A_a;

S_a — momentul static al secțiunii armăturii A'_a față de rezultanta eforturilor din armăturile A_p și A_a;

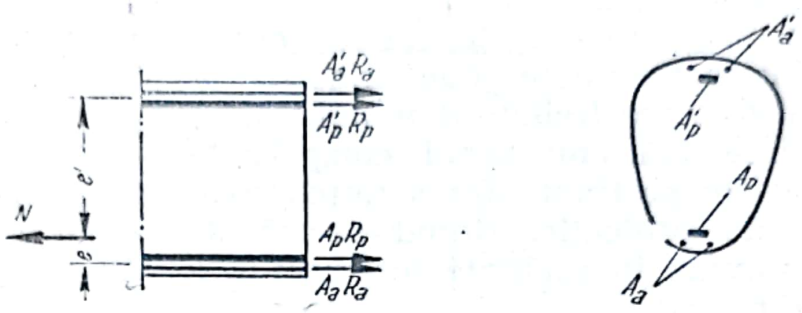


Fig. XIV.9.

e — excentricitatea forței exterioare N față de rezultanta eforturilor din armăturile A_p și A_a;

S'_p — momentul static al secțiunii armăturii A_p față de rezultanta eforturilor din armăturile A'_p și A'_a;

S'_a — momentul static al secțiunii armăturii A_a față de rezultanta eforturilor din armăturile A'_p și A'_a;

e' — excentricitatea forței exterioare N față de rezultanta eforturilor din armăturile A'_p și A'_a.

5. Încovoiere, compresiune excentrică cu excentricitate mare, întindere excentrică cu excentricitate mare. Calculul în secțiuni normale pe axa elementului

a. *Relații de calcul*

Elementele de beton precomprimat solicitate la încovoiere, compresiune excentrică cu excentricitate mare sau întindere excentrică cu excentricitate mare, se calculează în secțiuni normale pe axa elementului cu relațiile trecute în tabela XIV.2.

Relațiile din tabelă s-au stabilit pentru secțiuni prevăzute numai cu armături pretensionate. În cazul prezenței unei armături nepretensionate urmează a se aplica relația generală (XIV.8).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru secțiunile la care se poate utiliza pentru stabilirea coeficientului m_p, relația simplificată (XIV.5) s-au dat în tabela XIV.2 relații de calcul pentru principalele cazuri întîlnite în proiectarea curentă:

— verificarea secțiunii: se cunosc caracteristicile geometrice ale secțiunii, inclusiv armătura A_p, și se cere determinarea efortului capabil;

— dimensionarea secțiunii: se cunosc solicitarea exterioară și caracteristicile geometrice ale secțiunii, cu excepția armăturii A_p, care trebuie determinată.

Stabilirea înălțimii zonei comprimate se poate efectua pentru aceste secțiuni fără scrierea explicită a ecuației de echilibru de proiecție, ținînd seamă de faptul că relația (XIV.5) provine în realitate tot dintr-o ecuație de proiecție. Într-adevăr,

$$\frac{x}{h_0} = \frac{A_{pk}}{bh_0}\,\frac{\sigma_l}{R_l} = \frac{A_{pk}}{bh_0}\,\frac{m_p R_p}{R_l}$$

$$\frac{A_{pk}}{bh_0}\,\frac{R_p}{R_l} = \frac{1}{m_p}\,\frac{x}{h_0}.$$

Înlocuind în (XIV.5) rezultă

$$m_p = 1 - \frac{k}{m_p}\,\frac{x}{h_0},$$

obținîndu-se astfel o relație mai comodă pentru determinarea înălțimii zonei comprimate

$$\frac{x}{h_0} = \frac{m_p(1 - m_p)}{k}. \qquad \text{(XIV.22)}$$

Pentru cazurile în care se cere determinarea armăturii pentru o solicitare exterioară dată este necesară rezolvarea ecuației

$$\alpha_{1p} = f(B_1).$$

În acest scop s-au întocmit tabelele XIV.3 (pentru armătura postîntinsă) și XIV.4 (pentru armătura preîntinsă), care dau direct valorile α_{1p} în funcție de B_1 cu precizie de 0,0001.

În cazul elementelor care satisfac condițiile de aplicare a relației simplificate (XIV.5) pentru m_p, în secțiunile de moment maxim, se admite în mod acoperitor să se facă calculul cu ajutorul aceleiași relații și în celelalte secțiuni, chiar dacă în acele secțiuni armătura pretensionată din zona întinsă este repartizată pe mai mult decît 30% din înălțimea grinzii.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XIV.3

Valori de calcul α_p respectiv α_{1p} la starea limită de rezistență pentru secțiuni dreptunghiulare solicitate la încovoiere
Elemente cu armătura postîntinsă

B respectiv B_1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,000	0,0000	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0 0060	0,0071	0,0081	0,0091
0,010	0,0101	0,0111	0,0121	0,0132	0,0142	0,0152	0,0163	0,0173	0,0183	0,0194
0,020	0,0204	0,0215	0,0225	0,0236	0,0247	0,0257	0,0268	0,0278	0,0289	0,0300
0,030	0 0310	0,0321	0,0332	0,0342	0,0353	0,0364	0,0375	0,0386	0,0397	0,0408
0,040	0,0419	0,0430	0,0441	0,0452	0,0463	0,0474	0,0485	0,0496	0,0508	0,0519
0,050	0,0530	0,0541	0,0552	0,0564	0,0575	0,0587	0,0598	0,0610	0,0621	0,0632
0,060	0,0644	0,0655	0,0667	0,0679	0,0690	0,0702	0,0714	0,0725	0,0737	0,0749
0,070	0 0761	0,0773	0,0785	0,0797	0,0809	0,0821	0,0833	0,0845	0,0857	0,8069
0,080	0,0881	0,0893	0,0906	0,0918	0,0930	0,0942	0,0955	0,0967	0,0980	0,0992
0,090	0,1005	0,1017	0,1030	0,1043	0,1056	0,1069	0,1081	0,1094	0,1107	0,1120
0,100	0,1133	0,1146	0,1159	0,1172	0 1185	0,1198	0,1211	0,1224	0,1237	0,1251
0,110	0,1264	0,1277	0 1291	0,1304	0,1317	0,1331	0,1345	0,1358	0,1372	0,1386
0,120	0,1400	0,1414	0,1427	0,1441	0,1455	0,1469	0,1483	0,1497	0,1511	0,1525
0,130	0,1540	0 1554	0,1568	0,1583	0,1597	0,1611	0,1626	0,1641	0,1655	0,1670
0,140	0,1685	0,1700	0,1715	0,1730	0,1745	0,1760	0,1775	0,1790	0,1805	0,1820
0,150	0,1835	0,1851	0,1866	0,1881	0,1897	0 1913	0,1928	0,1944	0,1960	0,1976
0,160	0,1992	0,2008	0,2024	0,2040	0,2056	0 2072	0,2088	0,2105	0,2121	0,2138
0,170	0,2155	0,2171	0,2188	0,2205	0,2221	0,2238	0,2255	0,2272	0,2290	0,2307
0,180	0,2324	0,2341	0,2358	0,2376	0,2394	0,2412	0,2430	0,2447	0,2465	0,2483
0,190	0,2501	0,2520	0,2538	0,2556	0,2575	0,2593	0,2612	0,2630	0,2649	0,2668
0,200	0,2687	0,2706	0,2726	0,2745	0,2764	0,2784	0,2804	0,2824	0,2843	0,2863
0,210	0,2883	0,2903	0,2924	0,2944	0,2964	0,2984	0,3 05	0 3026	0,3047	0,3068
0,220	0,3089	0,3110	0,3132	0,3154	0,3175	0,3197	0,3219	0,3241	0,3263	0,3286
0 230	0,3308	0,3330	0,3353	0,3376	0,3400	0,3423	0,3446	0,3470	0,3493	0,3517
0,240	0,3541	0,3565	0,3590	0,3615	0,3640	0,3665	0,3690	0,3715	0,3740	0,3765
0,250	0,3791	0,3817	0,3843	0,3870	0,3897	0,3923				

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XIV.4

Valori de calcul α_p respectiv α_{1p} la starea limită de rezistență pentru secțiuni dreptunghiulare solicitate la încovoiere
Elemente cu armătura preîntinsă

B respectiv B_1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,000	0,0000	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0091
0,010	0,0101	0,0111	0,0121	0,0131	0,0142	0,0152	0,0162	0,0172	0,0183	0,0193
0,020	0,0203	0,0214	0,0224	0,0234	0,0245	0,0255	0,0265	0,0276	0,0287	0,0297
0,030	0,0303	0,0318	0,0329	0,0339	0,0350	0,0360	0,0371	0,0381	0,0392	0,0402
0,040	0,0413	0,0424	0,0435	0,0446	0,0457	0,0467	0,0478	0,0489	0,0500	0,0510
0,050	0,0521	0,0532	0,0543	0,0554	0,0565	0,0576	0,0587	0,0598	0,0609	0,0620
0,060	0,0631	0,0642	0,0653	0,0664	0,0676	0,0687	0,0698	0,0709	0,0720	0,0731
0,070	0,0743	0,0754	0,0766	0,0777	0,0788	0,0800	0,0811	0,0822	0,0834	0,0845
0,080	0,0857	0,0869	0,0880	0,0891	0,0903	0,0914	0,0926	0,0938	0,0950	0,0961
0,090	0,0973	0,0985	0,0997	0,1009	0,1020	0,1032	0,1044	0,1056	0,1068	0,1080
0,100	0,1091	0,1103	0,1116	0,1128	0,1140	0,1152	0,1164	0,1176	0,1188	0,1200
0,110	0,1212	0,1225	0,1237	0,1249	0,1261	0,1274	0,1286	0,1299	0,1311	0,1324
0,120	0,1336	0,1349	0,1361	0,1374	0,1386	0,1399	0,1411	0,1424	0,1436	0,1449
0,130	0,1462	0,1475	0,1487	0,1500	0,1513	0,1526	0,1539	0,1552	0,1565	0,1578
0,140	0,1591	0,1604	0,1617	0,1630	0,1643	0,1656	0,1669	0,1682	0,1696	0,1709
0,150	0,1722	0,1736	0,1749	0,1762	0,1776	0,1789	0,1803	0,1816	0,1830	0,1844
0,160	0,1857	0,1871	0,1885	0,1899	0,1912	0,1926	0,1940	0,1954	0,1968	0,1982
0,170	0,1996	0,2010	0,2024	0,2038	0,2052	0,2066	0,2080	0,2094	0,2109	0,2123
0,180	0,2137	0,2151	0,2166	0,2180	0,2194	0,2209	0,2224	0,2239	0,2253	0,2268
0,190	0,2283	0,2297	0,2312	0,2327	0,2342	0,2357	0,2372	0,2387	0,2402	0,2417
0,200	0,2432	0,2447	0,2462	0,2477	0,2492	0,2507	0,2523	0,2538	0,2553	0,2569
0,210	0,2585	0,2600	0,2616	0,2632	0,2647	0,2663	0,2679	0,2695	0,2710	0,2726
0,220	0,2742	0,2758	0,2774	0,2790	0,2806	0,2823	0,2839	0,2855	0,2872	0,2888
0,230	0,2905	0,2922	0,2938	0,2955	0,2972	0,2988	0,3005	0,3022	0,3038	0,3055
0,240	0,3072	0,3089	0,3106	0,3123	0,3140	0,3158	0,3175	0,3192	0,3210	0,3227
0,250	0,3245	0,3262	0,3280	0,3298	0,3315	0,3333				

Scanned with OKEN Scanner

Pentru secțiunile de formă oarecare este necesară scrierea explicită a condiției de compatibilitate a deformațiilor specifice în secțiune.

Înălțimea zonei comprimate rezultă prin încercări succesive, alegînd o poziție inițială a axei neutre și stabilind deformația specifică corespunzătoare a armăturii pretensionate din zona întinsă, ε_l. Din diagrama caracteristică de calcul a oțelului rezultă în continuare efortul unitar σ_l corespunzător acestei deformații specifice.

Cu valorile x și σ_l cunoscute se scrie ecuația de echilibru de proiecție pe axa elementului. Din cîteva încercări se obține valoarea corectă x, pentru care această ecuație este satisfăcută.

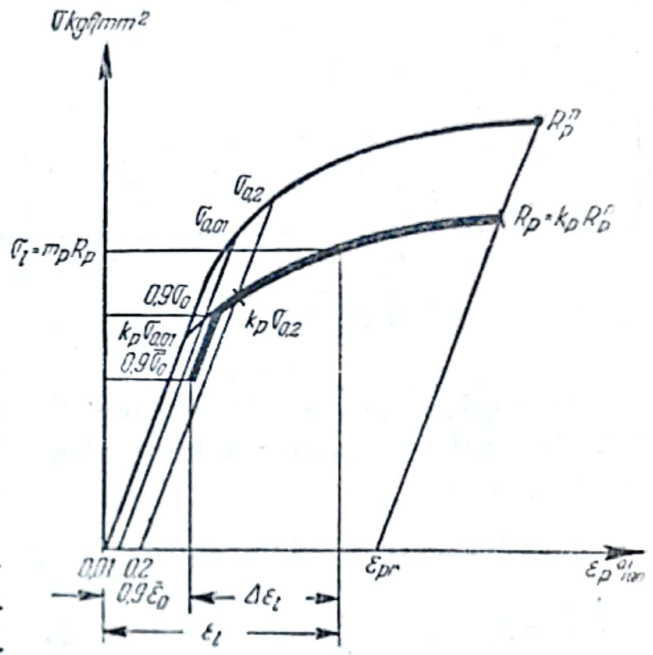


Fig. XIV.10.

Diagrama caracteristică de calcul a oțelului, necesară pentru determinarea efortului unitar $\sigma_l = m_p R_p = f(\varepsilon_l)$, se stabilește pe baza diagramei caracteristice a oțelului corespunzător valorilor de calcul (fig. XIV.10), obținute prin reducerea tuturor valorilor caracteristice normale ($\sigma_{0,01}$; $\sigma_{0,2}$; R_p^n) prin multiplicare cu coeficientul de omogenitate k_p.

În diagrama caracteristică de calcul stabilită în acest mod, se introduce atît efectul pretensionării pînă la efortul unitar de calcul inițial 0,9 σ_0, cît și efectul reducerii ulterioare în timp a efortului unitar de calcul la valoarea finală 0,9 $\bar{\sigma}_0$ (v. fig. XIV.10).

Pentru trasarea diagramelor caracteristice de calcul pentru armături alcătuite din sîrme SBP se dau, pe lîngă caracteristicile mecanice trecute în tabela XI.5 și datele suplimentare din tabela XIV.5.

Dacă forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de părți diferite ale axei neutre, calculul se face pentru toate tipurile de secțiuni cu relațiile (XIV.11) și (XIV.12), în care se înlocuiește însă R_l^t cu R_l.

Tabela XIV.5

Caracteristicile armăturilor pretensionate din sîrme SBP

Calitatea sîrmei	Diametrul ∅ mm	$\sigma_{0,01}$	$\sigma_{0,2}$	Alungirea remanentă la rupere în afara zonei stricționate ε_{pr}
SBP I	$\varnothing \leqslant 3$	0,70 R_p^n	0,85 R_p^n	1,5%
	$\varnothing > 3$			2,0%
SBP II	$\varnothing \leqslant 3$	—	0,80 R_p^n	1,0%
	$\varnothing > 3$			1,5%

b. *Exemple de calcul*

Exemplul XIV.5. Să se verifice secțiunea panei de acoperiș de beton precomprimat din exemplul de calcul XIV.1 (v. fig. XIV.5).

$h_0=40-4{,}05=35{,}95$ cm; $b=5$ cm; $b_p=30$ cm; $h_p\approx 4{,}5+\frac{1{,}0}{2}=5$ cm; $a'_p=2{,}25$ cm; $A_p=2{,}12$ cm^2; $A'_p=0{,}423$ cm^2;

B 400, $R_i=210$ kgf/cm^2; SBP II, $R_p=12\,800$ kgf/cm^2;

$\sigma'_0=8\,600$ kgf/cm^2;

$\sigma'_i=3\,000-m_0\,\sigma_0=3\,000-1{,}1\times 8\,600=-6\,460$ kgf/cm^2.

— Se presupune inițial că axa neutră cade în placă; calculul se efectuează ca pentru o secțiune dreptunghiulară de lățime

$$b_d=b+0{,}8\,(b_p-b)=5+0{,}8\,(30-5)=25 \text{ cm}$$

$$\alpha_p=\frac{A_p}{b_d h_0}\,\frac{R_p}{R_i}=\frac{2{,}12}{25\times 35{,}95}\cdot\frac{12\,800}{210}=0{,}144$$

$$\alpha'_p=\frac{A'_p}{b_d h_0}\cdot\frac{\sigma'}{R_i}=-\frac{0{,}423}{25\times 35{,}95}\cdot\frac{6\,460}{210}=-0{,}0145$$

$$m_p=\frac{1-k\alpha_p}{2}+\sqrt{\left(\frac{1-k\alpha_p}{2}\right)^2+k\alpha'_p}=\frac{1-0{,}3\times 0{,}144}{2}+$$

$$+\sqrt{\left(\frac{1-0{,}3\times 0{,}144}{2}\right)^2-0{,}3\times 0{,}0145}=0{,}9525$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\sigma_l = m_p R_p = 0{,}9525 \times 12\,800 = 12\,200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$x = \frac{A_p\sigma_l - A'_p\sigma'_l}{b_d R_i} = \frac{2{,}12 \times 12{,}200 + 0{,}423 \times 6\,460}{25 \times 210} = 5{,}43 \text{ cm} > 5 \text{ cm}$$

respectiv

$$x = \frac{m_p(1 - m_p)}{k} h_0 = \frac{0{,}9525(1 - 0{,}9525)}{0{,}3} 35{,}95 = 5{,}42 \text{ cm} > 5 \text{ cm}.$$

— Deoarece axa neutră cade în inima grinzii trebuie refăcut calculul

$$\alpha_p = \frac{A_p}{bh_0}\frac{R_p}{R_i} = \frac{2{,}12}{5 \times 35{,}95} \cdot \frac{12\,800}{210} = 0{,}72$$

$$\alpha'_p = \frac{A'_p}{bh_0}\frac{\sigma'_l}{R_i} = -\frac{0{,}423}{5 \times 35{,}95} \cdot \frac{6\,460}{210} = -0{,}0723$$

$$m_p = \frac{1 - k\alpha_p}{2} + \sqrt{\left(\frac{1 - k\alpha_p}{2}\right)^2 + k\left[0{,}8\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\frac{h_p}{h_0} + \alpha'_p\right]} =$$

$$= \frac{1 - 0{,}3 \times 0{,}72}{2} + \sqrt{\left(\frac{1 - 0{,}3 \times 0{,}72}{2}\right)^2 + 0{,}3\left[0{,}8\left(\frac{30}{5} - 1\right)\frac{5}{35{,}95} - 0{,}0725\right]} =$$

$$= 0{,}9387$$

$$\sigma_l = m_p R_p = 0{,}9387 \times 12\,800 = 12\,020 \text{ kgf/cm}^2$$

$$x = \frac{A_p\sigma_l - A'_p\sigma'_l - 0{,}8(b_p - b)h_p R_l}{bR_i} =$$

$$= \frac{2{,}12 \times 12\,020 + 0{,}423 \times 6\,460 - 0{,}8(30 - 5)5 \times 210}{5 \times 210} = 6{,}85 \text{ cm}$$

$$x = \frac{m_p(1 - m_p)}{k} h_0 = \frac{0{,}9387(1 - 0{,}9387)}{0{,}3} 35{,}95 = 6{,}87 \text{ cm}$$

$$M \leqslant 0{,}8\left\{\left[bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + 0{,}8(b_p - b)h_p\left(h_0 - \frac{h_p}{2}\right)\right]R_l + \right.$$

$$\left. + A'_p\sigma'_l(h_0 - a'_p)\right\} = 0{,}8\left\{\left[5 \times 6{,}85\left(35{,}95 - \frac{6{,}85}{2}\right) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + 0{,}8(30 - 5)5\left(35{,}95 - \frac{5}{2}\right)\right]210 - 0{,}423 \times 6\,460(35{,}95 - 2{,}25)\right\} =$$

$$= 675\,000 \text{ kgf/cm}^2.$$

— Deoarece se cunoaște practic totdeauna momentul încărcărilor exterioare, care se compară cu momentul capabil al secțiunii, este mai comod a stabili armătura A_p necesară

Scanned with OKEN Scanner

pentru momentul dat M și a verifica dacă este mai mică decît armătura efectiv existentă în secțiune. În acest mod se pot utiliza tabelele XIV.3 și XIV.4, simplificînd calculele numerice.

Fie în cazul considerat $M=650\,000$ kgfcm

$$B_1=\frac{1}{bh_0^2R_i}\left[\frac{M}{0{,}8}-0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)R_i-A'_p\sigma'_l\,(h_0-a'_p)\right]=$$

$$=\frac{1}{5\times 35{,}95^2\times 210}\left[\frac{650\,000}{0{,}8}-0{,}8\,(30-5)\,5\left(35{,}95-\frac{5}{2}\right)210+\right.$$

$$\left.+0{,}423\times 6\,460\,(35{,}95-2{,}25)\right]=0{,}149\,.$$

Din tabela XIV.4 rezultă

$$\alpha_{1p}=0{,}1709$$

$$m_p=1-k\alpha_{1p}=1-0{,}3\times 0{,}1709=0{,}9488$$

$$m_pR_p=0{,}9488\times 12\,800=12\,140\ \text{kgf/cm}^2$$

$$A_p=\alpha_{1p}bh_0\frac{R_i}{R_p}+0{,}8(b_p-b)h_p\frac{R_i}{m_pR_p}+A'_p\frac{\sigma'_l}{m_pR_p}=$$

$$=0{,}1709\times 5\times 35{,}95\,\frac{210}{12\,800}+0{,}8\,(30-5)\,5\,\frac{210}{12\,140}-0{,}423\,\frac{6\,460}{12\,140}=$$

$$=2{,}01\ \text{cm}^2<2{,}12\ \text{cm}^2.$$

Armarea prevăzută este deci suficientă.

Exemplul XIV.6. Să se verifice secțiunea grinzii de rulare de 20 m deschidere din fig. XIV.11.

$$a_p=\frac{5\times 5+3\times 12+19+26+33+40+47}{13}=17{,}4\ \text{cm}$$

$h_0=160-17{,}4=142{,}6$ cm; $b=14$ cm; $b_p=110$ cm; $h_p=14$ cm.

vuta: $b_v=2\times 14=28$ cm; $h_v=14$ cm;

armătura pretensionată, 13 fascicule 12 ∅ 5 mm.

$$A_p=13\times 2{,}35=30{,}6\ \text{cm}^2$$

B 400 $R_i=210$ kgf/cm²

SBP I $R_p=13\,200$ kgf/cm².

Armăturile din oțel moale se neglijează, avînd în vedere secțiunea lor redusă.

Scanned with OKEN Scanner

— Se presupune inițial că axa neutră cade în placă. Calculul se efectuează ca pentru o secțiune dreptunghiulară de lățime

$$b_d = b + 0{,}8\,(b_p - b) = 14 + 0{,}8\,(110 - 14) = 90{,}8 \text{ cm}$$

$$m_p = 1 - k\frac{A_p R_p}{b h_0 R_i} = 1 - 0{,}6\frac{30{,}6 \times 13\,200}{90{,}8 \times 142{,}6 \times 210} = 0{,}9108$$

$$\sigma_l = m_p R_p = 0{,}9108 \times 13\,200 = 12\,000 \text{ kgf.}$$

$$x = \frac{A_p \sigma_l}{b R_i} = \frac{30{,}6 \times 12\,000}{90{,}8 \times 210} = 19{,}25 \text{ cm} > 14 \text{ cm.}$$

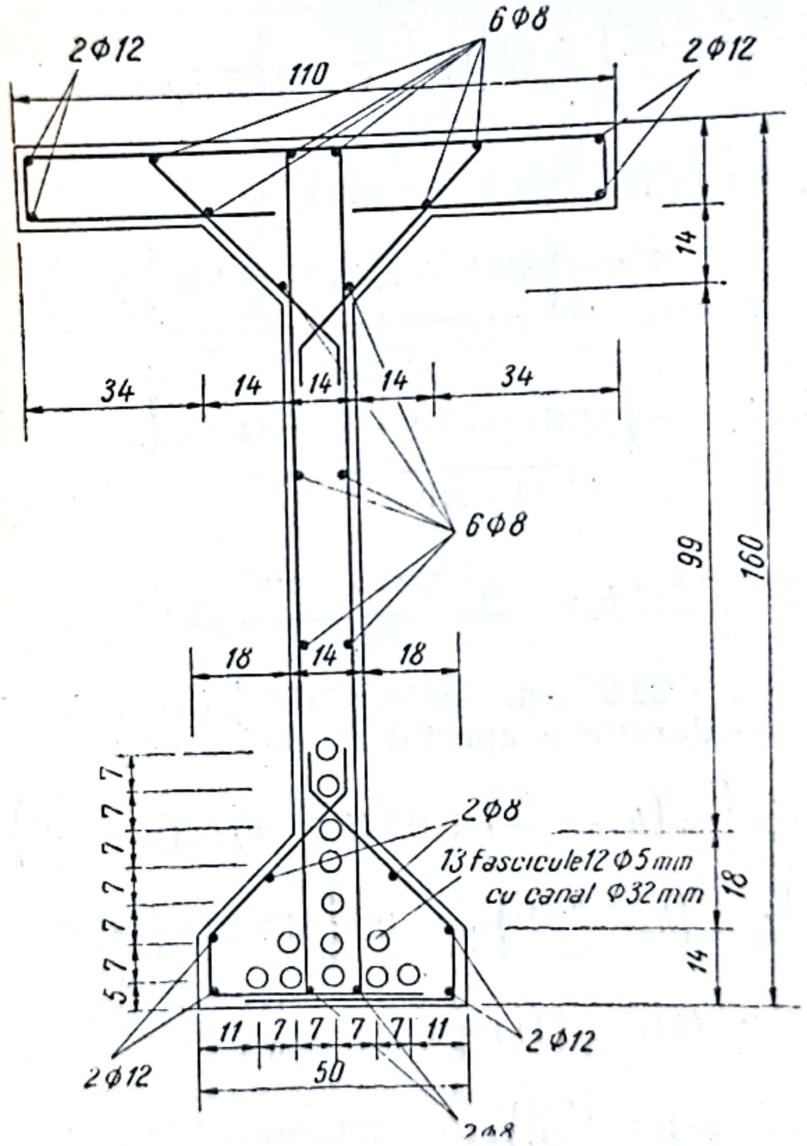


Fig. XIV.11.

— Deoarece axa neutră cade în inima grinzii, trebuie refăcut calculul

$$\alpha_p = \frac{A_p}{b h_0}\frac{R_p}{R_i} = \frac{30{,}6}{14 \times 142{,}6} \cdot \frac{13\,200}{210} = 0{,}962.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru că vutele sînt importante ca dimensiuni, se introduce efectul lor în relația de calcul pentru m_p, în ipoteza că axa neutră trece la limita inferioară a vutei, în conformitate cu demonstrația pentru determinarea relației (XIV.8)

$$m_p = \frac{1-k\alpha_p}{2} + \sqrt{\left(\frac{1-k\alpha_p}{2}\right)^2 + k\left[0{,}8\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\frac{h_p}{h_0} + \frac{1}{2}\frac{b_v h_v}{b h_0}\right]} =$$

$$= \frac{1-0{,}6\times 0{,}962}{2} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{1-0{,}6\times 0{,}962}{2}\right)^2 + 0{,}6\left[0{,}8\left(\frac{110}{14}-1\right)\frac{14}{142{,}6} + \frac{1}{2}\cdot\frac{14\times 28}{14\times 142{,}6}\right]} =$$

$$= 0{,}865.$$

$$\sigma_l = m_p R_p = 0{,}865\times 13\,200 = 11\,400 \text{ kgf/cm}^2$$

$$x = \frac{A_p\sigma_l - \left[0{,}8\,(b_p-b)\,h_p + \frac{1}{2}b_v h_v\right]R_i}{bR_i} =$$

$$= \frac{30{,}6\times 11\,400 - \left[0{,}8\,(110-14)\,14 + \frac{1}{2}\,14\times 28\right]210}{14\times 210} = 27{,}9 \text{ cm}$$

respectiv

$$x = \frac{m_p\,(1-m_p)}{k}\,h_0 = \frac{0{,}865\,(1-0{,}865)}{0{,}6}\,142{,}6 = 27{,}8 \text{ cm}.$$

Deoarece $x \approx 28{,}0$ cm, ipoteza de calcul aleasă pentru luarea în considerație a aportului vutelor este corectă.

$$M \leqslant 0{,}8\left\{bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + 0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0 - \frac{h_p}{2}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2}\,b_v h_v\left[h_0 - \left(h_p + \frac{h_v}{3}\right)\right]\right\}R_i = 0{,}8\left\{14\times 27{,}9\left(142{,}6 - \frac{27{,}9}{2}\right) + \right.$$

$$+ 0{,}8\,(110-14)\,14\left(142{,}6 - \frac{14}{2}\right) + \frac{1}{2}\,28\times$$

$$\left.\times 14\left[142{,}6 - \left(14 + \frac{14}{3}\right)\right]\right\}210 = 37\,100\,000 \text{ kgfcm} = 371 \text{ tfm}.$$

Ca și la exemplul precedent, este mai comod a compara armătura necesară A_p cu cea existentă în secțiune, decît a compara momentul încărcărilor exterioare M cu momentul capabil al secțiunii. Calculul se efectuează ținînd seamă în expresiile pentru B_1 și A_p de aportul vutelor.

Scanned with OKEN Scanner

Fie în cazul considerat $M=370$ tfm $=37\,000\,000$ kgfcm

$$B_1=\frac{1}{bh_0^2R_i}\left\{\frac{M}{0{,}8}-\left[0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)R_i+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{1}{2}b_vh_v\left(h_0-\left(h_p+\frac{h_v}{3}\right)\right)\right]R_i\right\}=\frac{1}{14\times142{,}6^2\times210}\left\{\frac{37\,000\,000}{0{,}8}-\right.$$

$$-\left[0{,}8\,(110-14)\,14\,(142{,}6-\frac{14}{2})+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{2}28\times14\left(142{,}6-\left(14-\frac{14}{3}\right)\right)\right]210\Big\}=0{,}174$$

Din tabela XIV.4 rezultă

$$\alpha_{1p}=0{,}2221$$

$$m_p=1-0{,}6\times0{,}2221=0{,}8665$$

$$m_pR_p=0{,}8665\times13\,200=11\,430\ \text{kgf/cm}^2$$

$$A_p=\alpha_{1p}bh_0\frac{R_i}{R_p}+\left[0{,}8\,(b_p-b)\,h_p+\frac{1}{2}b_vh_v\right]\frac{R_i}{m_pR_p}=$$

$$=0{,}2221\times14\times142{,}6\frac{210}{13\,200}+\left[0{,}8\,(110-14)\,14+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{2}\,28\times14\right]\frac{210}{11\,430}=30{,}5\ \text{cm}^2<30{,}6\ \text{cm}^2.$$

Armarea prevăzută este deci suficientă.

Exemplul XIV.7. Să se verifice secțiunea grinzii din fig. XIV.12.

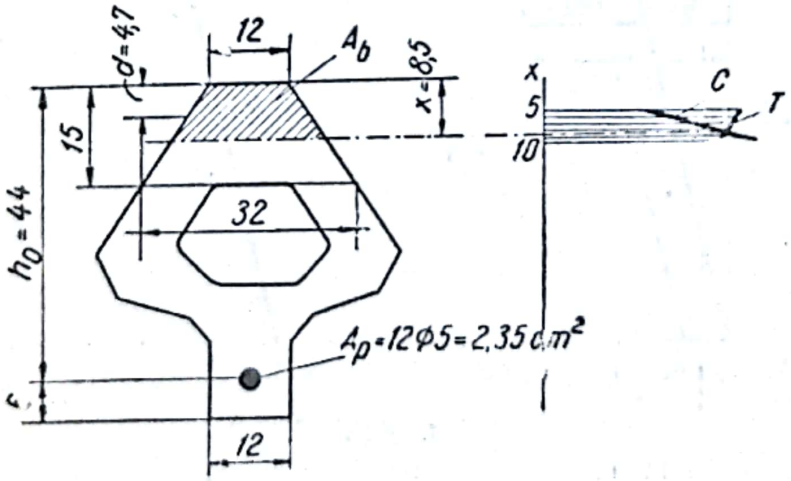


Fig. XIV.12.

Forma specială a secțiunii grinzii rezultă din considerente funcționale și arhitectonice.

Scanned with OKEN Scanner

Grinda se execută din beton B 400 și se armează cu un fascicul din 12 ∅ 5 mm SBP I, deci $R_i = 210$ kg/cm²; $R_p = 13\,200$ kg/cm².

Pentru sîrma considerată se trasează în fig. XIV.13 diagrama caracteristică în valori normate, din care rezultă diagrama caracteristică de calcul.

Armătura se pretensionează inițial la valoarea maximă

$$\sigma_0 = 0{,}7\ R_p^n$$

și în consecință

$$m_0\sigma_0 = 0{,}9 \times 0{,}7\ R_p^n = 10\,400 \text{ kgf/cm}^2.$$

Efortul unitar de calcul se reduce datorită pierderilor de tensiune în timp, astfel încît în final

$$m_0\bar{\sigma}_0 = 8\,200 \text{ kgf/cm}^2.$$

Calculul se efectuează după cum urmează:

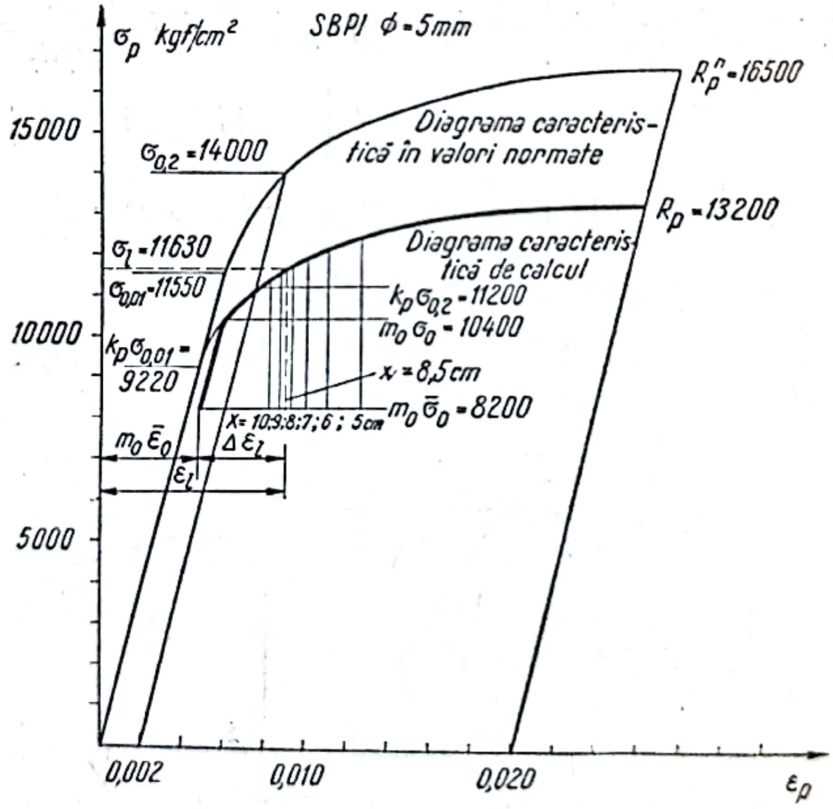


Fig. XIV.13.

— se alege o valoare pentru înălțimea zonei comprimate x;

— se calculează aria zonei comprimate A_b și forța de compresiune din secțiune $C = A_b R_i$;

— se calculează deformația specifică corespunzătoare a armăturii

$$\varepsilon_l = m_0\bar{\varepsilon}_0 + \Delta\varepsilon_l = m_0\bar{\varepsilon}_0 + \frac{h_0 - x}{x}\bar{\varepsilon}_i$$

unde $\bar{\varepsilon}_i = 0{,}001$ (armătură postîntinsă);

— din diagrama caracteristică de calcul a armăturii se obține valoarea efortului unitar σ_l corespunzătoare deformației specifice ε_l determinate;

— se calculează forța de întindere din secțiune $T = A_r \sigma_l$.

Calculul se repetă pentru diferite valori x, pînă ce se obține $C = T$.

Este recomandabil ă se reprezinte grafic variația valorilor C și T funcție de x, poziția corectă a axei neutre rezultînd în punctul de intersecție a celor două curbe.

Calculul se sistematizează într-o tabelă:

x cm	A_b cm²	C kgf	$\Delta\varepsilon_l$	σ_l kgf cm²	T kgf
5	76,7	16 100	0,0078	12 400	29 200
6	92,0	19 300	0,0063	12 100	28 400
7	107,4	22 600	0,0053	11 900	28 000
8	122,6	25 800	0,0045	11 700	27 500
9	138,0	29 000	0,0039	11 550	27 100
10	153,2	32 200	0,0034	11 400	26 800

La intersecția curbelor C și T se obține valoarea corectă

$$x = 8{,}5 \text{ cm}.$$

Verificînd se obține

$$A_b = 130{,}3 \text{ cm}^2; \quad C = 27\,400 \text{ kgf}.$$

$$\Delta\varepsilon_l = 0{,}0042; \quad \sigma_l = 11\,630 \text{ kgf/cm}^2; \quad T = 27\,400 \text{ kgf}.$$

Momentul capabil al secțiunii

$$M \leqslant 0{,}8\, A_b R_i (h_0 - d); \qquad d = 4{,}7 \text{ cm}$$

deci

$$M \leqslant 0{,}8 \times 130{,}3 \times 210\ (44 - 4{,}7) = 860\,000 \text{ kgfcm}.$$

6. Încovoiere. Calculul în secțiuni înclinate pe axa elementului

Calculul elementelor de beton precomprimat solicitate la încovoiere în secțiuni înclinate față de axa elementului se efectuează în aceleași condiții și cu aceleași relații ca și pentru elemente de beton armat.

Scanned with OKEN Scanner

Este necesar să se dea indicații suplimentare numai asupra modului în care se consideră în aceste relații de calcul efortul unitar din armăturile pretensionate.

În cazul calculului în secțiuni înclinate la moment încovoietor relația se scrie (fig. XIV.14)

$$M \leqslant 0{,}8\,(A_p\sigma_l z + \Sigma A_{pi}\sigma_l z_i + \Sigma A_{e,t}\,R_a z_e) \qquad \text{(XIV.23)}$$

în care: A_p este aria secțiunii armăturilor pretensionate longitudinale;

A_{pi} — aria secțiunii fiecărei armături pretensionate înclinate, care întretaie secțiunea considerată;

$A_{e,t}$ — aria secțiunii transversale a tuturor ramurilor unui etrier;

z, z_i și z_e — distanța de la centrul de greutate al secțiunii armăturilor longitudinale din zona întinsă, respectiv distanța de la fiecare armătură pretensionată înclinată sau de la fiecare etrier considerat, pînă la centrul de greutate al zonei comprimate (v. fig. XIV.14).

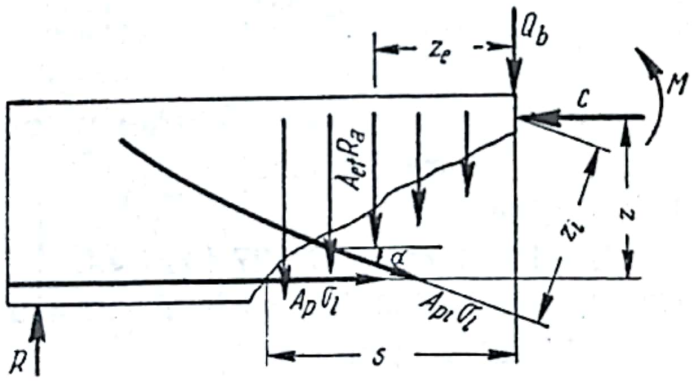


Fig. XIV.14.

Direcția secțiunii înclinate celei mai defavorabile se obține din relația

$$Q_0 = \Sigma A_{pi}\,\sigma_l \sin\alpha + \Sigma A_{e,t}\,R_a \qquad \text{(XIV.24)}$$

în care: Q_0 este forța tăietoare de calcul, la extremitatea din zona comprimată a secțiunii înclinate;

α — unghiul de înclinare a armăturilor pretensionate, față de axa longitudinală a elementului.

Scanned with OKEN Scanner

Poziția axei neutre și valoarea efortului unitar $\sigma_l = m_p R_p$ se determină în secțiunea normală pe axa elementului situată la extremitatea din zona comprimată a secțiunii înclinate (v. fig. XIV.14).

La elementele cu armătura ancorată prin aderență trebuie efectuată verificarea la moment încovoietor în secțiuni înclinate, pe lungimea de ancorare a armăturii. Efortul unitar din armătura pretensionată în relația (XIV.23) se consideră cu valoarea zero, la începutul lungimii de ancorare și apoi variind liniar pînă la valoarea maximă σ_l, la sfîrșitul lungimii de ancorare.

În cazul calculului în secțiuni înclinate la forța tăietoare, în toate relațiile de calcul în care apar armături pretensionate înclinate, efortul unitar din acestea se consideră cu valoarea $\sigma_l = m_p R_{pt}$, unde m_p se determină în secțiunea normală pe axa elementului, situată la extremitatea din zona comprimată a secțiunii înclinate.

Scanned with OKEN Scanner

XV

CALCULUL ELEMENTELOR DE BETON PRECOMPRIMAT LA STAREA LIMITĂ DE OBOSEALĂ

1. Relaţii de calcul

a) Elementele de beton precomprimat solicitate de încărcări repetate se verifică şi la starea limită de oboseală; verificarea se face punînd condiţia ca eforturile unitare care apar în beton şi în armătură sub acţiunea forţei de precomprimare în faza finală şi a încărcărilor exterioare normate, să nu depăşească rezistenţele de calcul la oboseală stabilite în conformitate cu indicaţiile din cap. XI.

La elementele solicitate de maşini cu dinamicitate mare şi foarte mare sau de poduri rulante cu regim foarte greu de exploatare, precum şi pentru secţiunile din rosturile elementelor şi construcţiilor asamblate prin armături postîntinse, se recomandă ca efortul unitar de compresiune din secţiune să nu fie în nici un punct mai mic decît 5 kgf/cm².

b) La calculul eforturilor unitare din beton şi armătură, coeficienţii de echivalenţă ai armăturii pretensionate şi nepretensionate se stabilesc ţinînd seamă de modulul de elasticitate la oboseală al betonului, E_b^o respectiv:

$$n_p^o = \frac{E_p}{E_b^o}; \quad n_a^o = \frac{E_a}{E_b^o}.$$

Valorile n_p^o respectiv n_a^o sînt date în tabelele XI.8, respectiv X.6.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru simplificare, ținînd seama de valoarea redusă a aproximativ, normativul P.8.-62 admite utilizarea, în verificarea la starea limită de oboseală, a caracteristicilor geometrice ale secțiunii ideale (A_i, I_i), stabilite pentru celelalte verificări cu $n_p = \frac{E_p}{E_b}$ și $n_a = \frac{'E_p}{E_b}$.

Efortul unitar într-o fibră oarecare de beton la distanța y de axa neutră se stabilește cu relația

$$\sigma_b = m_0 \left(\frac{\bar{N}_0}{A_i} \pm \frac{\bar{N}_0 \bar{e}_0 y}{I_i} \right) + \sum \frac{My}{I_i}. \qquad \text{(XV.1)}$$

Efortul unitar maxim din armătura pretensionată, $\sigma_{p\,max}$, se calculează cu relația

$$\sigma_{p\,max} = \bar{\sigma}_0 - n_p^o \sigma_{bp\,min} \qquad \text{(XV.2)}$$

în care $\sigma_{bp\,min}$ este efortul unitar minim care apare în fibra de beton de la nivelul armăturii pretensionate considerate, sub acțiunea forței de precomprimare și a încărcărilor exterioare normate.

Variația efortului unitar din armătura pretensionată sub acțiunea încărcării exterioare repetate se calculează cu relația

$$\Delta\sigma_p = n_p^o \Delta\sigma_{bp} \qquad \text{(XV.3)}$$

în care $\Delta\sigma_{bp}$ este variația de efort unitar în fibra de beton de la nivelul armăturii pretensionate considerate.

Amplitudinea ciclului rezultă din relația

$$\rho = \frac{\Delta\sigma_p}{\sigma_{p\,max}}. \qquad \text{(XV.4)}$$

2. Exemplu de calcul

Exemplul XV.1. Se cere să se verifice la oboseală grinda de rulare avînd secțiunea transversală în cîmp din fig. XIII.4.

Caracteristicile geometrice ale secțiunii:

$A_i = 3\,082$ cm^2; $W_0 = 87\,400$ cm^3; $M_{perm} = 19{,}8$ tfm;
$d = 65$ cm; $W_0' = 103\,300$ cm^3; $M_{expl} = 118$ tfm;
$I = 5\,681\,000$ cm^4; B 500; SBP I; $n_p = 4{,}75$; $r_p^o = 11{,}0$.

De asemenea sînt cunoscute valorile eforturilor unitare $\bar{\sigma}_0$ și $\bar{\sigma}_a$, introduse in continuare în calcule.

Stabilirea forței de precomprimare în faza finală

Armătura pretensionată	A_p cm²	$\bar{\sigma}_0$ kgf/cm²	y_p cm	$A_p\,\bar{\sigma}_0$	$A_p\,\bar{\sigma}_0\,y_p$
1, 4, 5	7,05	8 585	(58+47+36)	181 500	8 530 000
3	4,70	8 150	59	38 300	2 260 000
2	2,35	10 095	—49	23 700	—1 160 000
				243 500	9 630 000

Armătura nepretensionată	A_a cm²	σ_a kgf/cm²	y_a cm	$A_a\,\sigma_a$	$A_a\,\sigma_a\,y_a$
zona comprimată	9,15	—300	—48,5	— 2 740	133 000
zona întinsă	6,0	—2 500	37,0	—15 000	—555 000
				—17 740	—422 000

$$\bar{N}_0 = 243\,500 - 17\,740 = 225\,760 \text{ kgf.}$$

$$\bar{N}_0\bar{e}_0 = 9\,630\,000 - 422\,000 = 9\,208\,000 \text{ kgfcm}$$

$$\bar{e}_0 = \frac{9\,208\,000}{225\,760} = 40{,}7 \text{ cm}.$$

Eforturi unitare în fibrele extreme ale secțiunii de beton

	Precomprimare	Greutate proprie	Exploatare
fibra superioară kgf/cm²	—16,0	+19,1	+118,0
fibra inferioară kgf/cm²	+178,5	—22,7	—135,0

Verificarea eforturilor unitare din beton

fibra superioară

— descărcat $\sigma_s = -1{,}1 \times 16{,}0 + 19{,}1 = +1{,}5$ kgf/cm²

— încărcat $\sigma_s = -0{,}9 \times 16{,}0 + 19{,}1 + 114{,}0 = +118{,}7$ kgf/cm²

fibra inferioară

— descărcat $\sigma_i = 1{,}1 \times 178{,}5 - 22{,}7 = +173{,}5$ kgf/cm²

— încărcat $\sigma_i = 0{,}9 \times 178{,}5 - 22{,}7 - 135{,}0 = +2{,}8$ kgf/cm².

În conformitate cu tabela X.1 pentru B 500 și $\varrho > 0{,}9$

$$\sigma_{min} \geqslant 0$$

$$\sigma_{max} \leqslant 175 \text{ kgf/cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Eforturile unitare calculate mai înainte satisfac aceste condiții.

Verificarea eforturilor unitare din armătura pretensionată

Fasciculul	$\bar{\sigma}_0$ kgf/cm²	$\sigma_{bp\,min}$ kgf/cm²	$n_p^0\sigma_{bp\,min}$ kgf/cm²	$\sigma_{p\,max}$ kgf/cm²	$\Delta\sigma_{bp}$ kgf/cm²	$\Delta\sigma_p$ kgf/cm²	$\varrho = \frac{\Delta\sigma_p}{\sigma_{p\,max}}$	Rezistențele de calcul la oboseală conform tabelei XI. 7
2	10 095	10,8	119	9 976	101,7	1 115	0,114	0,60 × 16 500 = = 9 900 kgf/cm²
5	8 585	26,4	290	8 295	120,4	1 325	0,160	0,55 × 16 500 = = 9 100 kgf/cm²
3	8 150	25,5	280	7 870	122,5	1 350	0,171	0,55 × 16 500 = = 9 100 kgf/cm²

În calculul eforturilor unitare $\sigma_{bp\,min}$ din tabelă forța de precomprimare nu se afectează de coeficientul de imprecizie m_0.

Rezultă că fasciculul 2 nu satisface condiția de rezistență la oboseală, efortul unitar maxim în exploatare depășind valoarea rezistenței de calcul la oboseală.

Grinda trebuie restudiată, eventual reducînd forța de precomprimare din acest fascicul.

Scanned with OKEN Scanner

XVI

CALCULUL ELEMENTELOR DE BETON PRECOMPRIMAT LA STAREA LIMITĂ DE FISURARE

1. Principii generale

Elementele de beton precomprimat se clasifică în următoarele categorii de fisurabilitate:

categoria I, elemente la care se impun condiţii de impermeabilitate (rezervoare, conducte de presiune etc.);

categoria II, elemente la care nu se impun condiţii de impermeabilitate şi care prezintă cel puţin una din următoarele particularităţi:

— sînt solicitate de încărcări repetate;

— armătura pretensionată are rezistenţa normată peste 10 000 kgf/cm^2 sau diametrul sub 10 mm;

categoria III, toate celelalte elemente.

Elementele mixte se verifică la starea limită de apariţie a fisurilor în betonul precomprimat din secţiune ca elemente din categoria II de fisurabilitate.

Categoria de fisurabilitate a elementelor aflate în mediu corosiv se stabileşte prin prescripţii speciale.

Elementele de categoria I de fisurabilitate se verifică la starea limită de apariţie a fisurilor, astfel:

— la transfer, transport sau montaj, sub acţiunea forţei de precomprimare în faza iniţială şi a încărcărilor de calcul corespunzătoare;

— în exploatare, sub acţiunea forţei de precomprimare în faza finală şi a încărcărilor de calcul corespunzătoare.

Scanned with OKEN Scanner

Elementele de categoria II de fisurabilitate se verifică la starea limită de apariție a fisurilor, astfel:

— la transfer, transport sau montaj, sub acțiunea forței de precomprimare, în faza inițială și a încărcărilor exterioare normate corespunzătoare;

— în exploatare, sub acțiunea forței de precomprimare în faza finală și a încărcărilor exterioare normate corespunzătoare.

Elementele de categoria III de fisurabilitate se verifică la starea limită de deschidere a fisurilor ca elemente de beton armat, astfel:

— la transfer, transport sau montaj, sub acțiunea forței de precomprimare în faza inițială și a încărcărilor normate corespunzătoare;

— în exploatare, sub acțiunea forței de precomprimare în faza finală și a încărcărilor normate.

2. Calculul la starea limită de apariție și deschidere a fisurilor

a. *Relații de calcul*

1) Elementele de beton precomprimat se calculează la starea limită de apariție a fisurilor, în secțiuni normale, pe baza următoarelor ipoteze (fig. XVI.1):

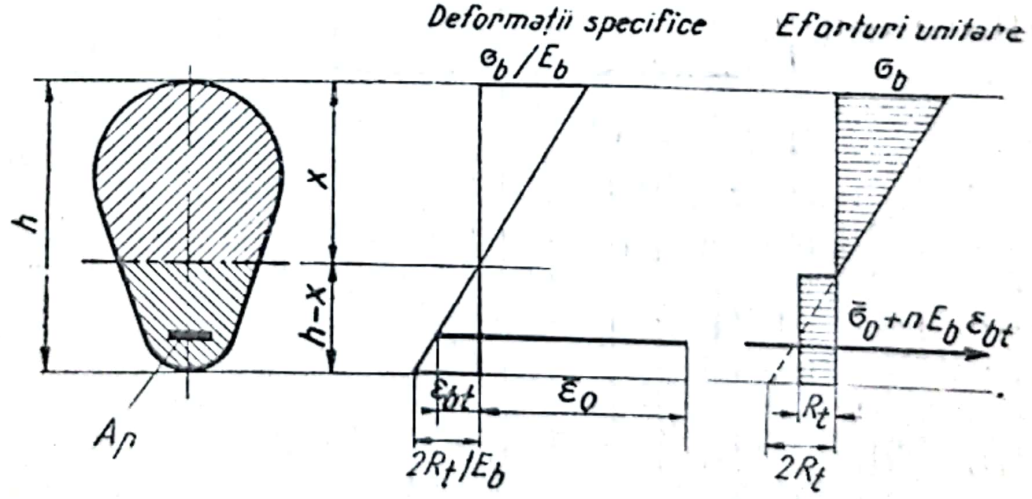


Fig. XVI.1.

— secțiunile plane înainte de deformație rămîn plane și după deformație;

Scanned with OKEN Scanner

— distribuția eforturilor unitare în betonul zonei comprimate este triunghiulară;

— eforturile unitare în betonul zonei întinse sînt egale cu valoarea rezistenței de calcul la întindere R_t, pe întreaga înălțime a acestei zone;

— la marginea întinsă a secțiunii se atinge deformația specifică limită de calcul a betonului la întindere, egală cu

$$\varepsilon_t = \frac{2R_t}{E_b}.$$

Pentru secțiunile din rosturile elementelor și construcțiilor asamblate prin postîntinderea armăturii, se consideră $R_t=0$, respectiv starea limită de apariție a fisurilor are loc odată cu anularea efortului unitar de compresiune la marginea mai puțin comprimată a secțiunii.

În cazul în care un element de beton precomprimat a fost încărcat pînă după apariția fisurilor iar apoi descărcat, la o nouă încărcare fisurile formate anterior se comportă ca niște rosturi într-un element asamblat.

La stabilirea caracteristicilor geometrice ale secțiunii ideale, în calculul la starea limită de apariție a fisurilor, nu se ține seama de mortarul de injectare din canale sau de stratul de protecție al armăturilor exterioare.

2) În calculul la starea limită de apariție a fisurilor la elementele de beton precomprimat solicitate (sub acțiunea încărcărilor exterioare) la încovoiere, compresiune excentrică sau întindere excentrică se deosebesc două cazuri distincte:

— forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află în părți diferite față de centrul de greutate al secțiunii. Acest caz se referă, în mod curent, la starea limită de apariție a fisurilor la transport, transfer sau montaj și, în mod excepțional, în exploatare (de exemplu, secțiuni solicitate în exploatare de momente încovoietoare de semne contrare, în diferite ipoteze de încărcare);

— forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de aceeași parte a centrului de greutate al secțiunii; acest caz se referă, în mod curent, la starea limită de apariție a fisurilor în exploatare și, în mod excepțional, la transport sau montaj.

3) Calculul elementelor de beton precomprimat la starea limită de apariție a fisurilor la transfer se efectuează cu ajutorul relației

$$m_0 M_0'^s \pm M_f'^s \leqslant 2W_0' R_t \qquad \text{(XVI.1)}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: $M_0'^s$ este momentul forței de precomprimare N_0 față de limita sîmburelui central, opusă marginii întinse a secțiunii;

$M_f'^s$ — momentul încărcărilor exterioare față de limita sîmburelui central opusă marginii întinse a secțiunii; în relația (XVI.1) se consideră semnul plus dacă momentul $M_f'^s$ acționează în sensul momentului forței de precomprimare;

m_0 — coeficientul de imprecizie al forței de precomprimare, egal cu 1,1;

W_0' — modulul de rezistență al secțiunii ideale pentru marginea întinsă, calculat ca pentru un material elastic și omogen.

Distanța de la limita sîmburelui central pînă la centrul de greutate al secțiunii se determină cu ajutorul relației

$$r_s' = \frac{W_0'}{A_i}. \qquad \text{(XVI.2)}$$

4) Calculul elementelor de beton precomprimat la starea limită de apariție a fisurilor în secțiuni normale, la transport sau montaj, se efectuează astfel:

— dacă forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de părți diferite față de centrul de greutate al secțiunii, calculul se face cu relația (XVI.1);

— dacă forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de aceeași parte a centrului de greutate al secțiunii, calculul se face cu relația

$$M_f^s \leqslant W_f R_t + m_0 M_0^s \qquad \text{(XVI.3)}$$

în care: M_0^s este momentul forței de precomprimare N_0 față de limita sîmburelui central opusă marginii întinse a secțiunii;

M_f^s — momentul încărcărilor exterioare față de limita sîmburelui central opusă marginii întinse a secțiunii;

W_f — modulul de rezistență la fisurare al secțiunii ideale neprecomprimate, considerînd repartiția eforturilor unitare pe înălțimea secțiunii ca în fig. XVI.1;

m_0 = 0,9.

Scanned with OKEN Scanner

În relația (XVI.3), distanța de la limita sîmburelui central pînă la centrul de greutate al secțiunii se determină cu ajutorul relației

$$r_s = \frac{W_0}{A_i} \qquad \text{(XVI.5)}$$

unde W_0 este modulul de rezistență al secțiunii ideale pentru marginea întinsă, calculat ca pentru un material elastic și omogen.

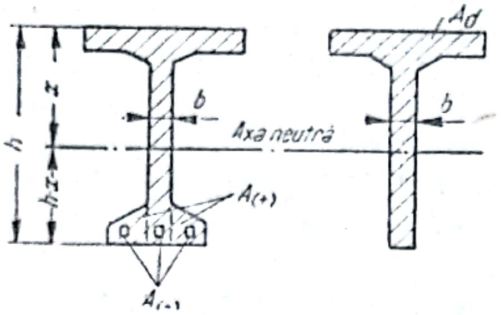


Fig. XVI.2.

Normativul P.8-62 permite determinarea modulului de rezistență la fisurare cu relația

$$W_f = \gamma W_0 \qquad \text{(XVI.4)}$$

unde coeficientul γ este dat în anexa III (conform normativului P.8-62) cu o aproximație, în unele cazuri, de $\pm 12\%$, sau în tabela XVI.1 cu o aproximație de $\pm 2\%$.

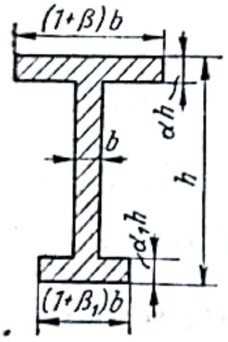


Tabela XVI.1

Valori γ pentru calculul modulului de rezistență la fisurare la secțiuni I

$W_f = \gamma W_0$

$\alpha\beta$	0		0,10		0,20		0,40		0,60		1,0	
$\alpha_1\beta_1$ \ α_1	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0.10	0,20
0,10	1,615	1.660	1,605	1,640	1,590	1,625	1,570	1 600	1,550	1,580	1 530	1,550
0,15	1,570	1,630	1,560	1,615	1,545	1,590	1,525	1,560	1,505	1,540	1,485	1,510
0,20	1,530	1.610	1,520	1 585	1,505	1,565	1,485	1,530	1,465	1,505	1,445	1,480
0,30	1,480	1 595	1,465	1,565	1,450	1,545	1,430	1,510	1,410	1,485	1,390	1,455
0,40	1,445	1,580	1,430	1,545	1,410	1,525	1,390	1,485	1,370	1,460	1,350	1,430
0,60	1,420	1,570	1,400	1,535	1,38	1,510	1,360	1,465	1,340	1,435	1,320	1,410
0,80	1,400	1,560	1,380	1,520	1,360	1,490	1,340	1,440	1,320	1,410	1,300	1.390

Valori mai precise pentru W_f se pot calcula cu ajutorul relațiilor de calcul din tabela XVI.2.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XVI.2

Relații de calcul pentru modulul de rezistență la fisurare

Caracteristicile secțiunii	Înălțimea zonei întinse	W_f
Axa neutră taie secțiunea într-o porțiune de lățime constantă (fig. XVI.2)	$h-x=\dfrac{S_d}{A_d+\dfrac{A_{(+)}-A_{(-)}}{2}}$	$\dfrac{2I_c}{h-x}+S_t$
Secțiune oarecare (înălțimea zonei întinse se determină prin încercări)	$h-x=\dfrac{2S_c}{A_t}$	

A_d este aria suprafeței convenționale de calcul, alcătuită din zona comprimată a secțiunii ideale, completată în zona întinsă cu un dreptunghi de lățime b, egală cu lățimea secțiunii în axa neutră și de înălțime $(h-x)$, egală cu înălțimea zonei întinse (v. fig. XVI.2);

S_d — momentul static al suprafeței A_d față de marginea întinsă $I-I$ (v. fig. XV.2);

$A_{(+)}$ — aria porțiunilor din zona întinsă a secțiunii ideale care ies în afara dreptunghiului $(h-x)b$;

$A_{(-)}$ — aria golurilor din zona întinsă;

S_c — momentul static al zonei comprimate a secțiunii ideale față de axa neutră;

I_c — momentul de inerție al zonei comprimate a secțiunii ideale în raport cu axa neutră;

A_t — aria zonei întinse a secțiunii ideale;

S_t — momentul static al zonei întinse a secțiunii ideale față de axa neutră.

Observație. Chiar în cazul calculării unor valori mai precise pentru W_f, cu ajutorul relațiilor din tabela XVI.2, valorile momentului limită ce se calculează pentru capacitatea de rezistență la fisurare (partea dreaptă a inegalităților XVI.3 și XVI.8) sînt mai mici, deci acoperitor, cu 1—5% decît valorile care rezultă din aplicarea condițiilor reprezentate în fig. XVI.1, în cazul în care se ține seama și de efectul precomprimării asupra poziției axei neutre în stadiul limită.

Calculul secțiunilor prin aplicarea directă a condițiilor susmenționate este relativ complicat; utilizarea lor este indicată atunci cînd numai în acest fel se poate respecta condiția de verificare a inegalității dintre solicitarea exterioară și capacitatea de rezistență a secțiunii.

În tabela XVI.3 se dau, pentru secțiuni T, valorile m_f funcție de mărimile $\dfrac{b_p}{b}; \dfrac{h_p}{h}; \theta=\dfrac{\overline{N}_{0f}\pm N}{bhR_t}$, verificarea făcîndu-se cu relația

$$M_f^{ax}\leqslant m_f bh^2R_t+\overline{M}_{0f}^{ax}$$

Tabela XVI.3

Valori m_f pentru calculul momentului încovoietor la starea limită de apariție a fisurilor

b_p/b	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
h_p/h	$\theta = 1$									
0,05	0,5333	0 5764	0,6124	0,6433	0,6698	0,6927	0,7126	0,7304	0,7463	0,7605
0,10	0.5655	0,6253	0,6698	0,7038	0,7306	0,7524	0,7704	0,7852	0,7977	0,8083
0,15	0,5840	0,6486	0,6918	0,7231	0,7465	0 7643	0,7785	0,7901	0,7995	0,8076
0,20	0,5933	0,6563	0,6960	0,7233	0,7438	0,7578	0,7696	0,7790	0,7866	0,7933
0 25	0,5961	0,6549	0,6906	0,7145	0,7321	0.7452	0,7561	0,7644	0,7722	0,7784
	$\theta = 10$									
0 05	2,3015	2,5515	2 7646	2,9487	3,1078	3,2472	3,3702	3,4803	3,5791	3,6615
0,10	2 4953	2,8551	3,1276	3,3414	3,5129	3 6546	3,7722	3,8723	3,9586	4,0331
0,15	2,6157	3,0139	3 2893	3,4935	3,6500	3,7734	3,8733	3,9577	4,0261	4,0859
0,20	2,6830	3,0805	3,3404	3,5240	3,6599	3,7651	3,8494	3 9173	3,9729	4,0213
0,25	2,7093	3,0872	3,3239	3,4854	3,6035	3,6930	3,7640	3,8201	3,8681	3,9068
	Δ									
0,05	0,1965	0,2195	0,2391	0,2562	0,2709	0,2838	0 2953	0,3055	0,3148	0,3231
0,10	0,2144	0,2478	0,2731	0,2931	0,3091	0,3225	0,3335	0,3430	0,3512	0,3583
0,15	0,2257	0,2628	0,2886	0,3078	0,3226	0,3343	0,3439	0,3520	0,3585	0,3643
0,20	0,2322	0,2694	0,2938	0,3112	0,3240	0,3341	0,3422	0,3487	0,3540	0,3587
0,25	0,2348	0,2703	0,2926	0,3079	0,3190	0,3275	0,3342	0,3395	0,3440	0,3476

Scanned with OKEN Scanner

în care:

$$\overline{N}_{0f} = A_p(\bar{\sigma}_0 + 200)$$

N este încărcarea axială exterioară (cu semnul + pentru compresiune);

M_{0f}^{ax} — momentul încărcărilor exterioare față de axa care trece la jumătatea înălțimii grinzii;

$\overline{M}_{0f}^{ax}$ — momentul forței $\overline{N}_{0f}$ față de aceeași axă.

Pentru $1 \leqslant \theta \leqslant 10$, valorile m_f se determină prin interpolare liniară cu relația

$$m_{f\,(\theta)} = m_{f\,(1)} + (\theta - 1)\,\Delta.$$

5) Calculul elementelor de beton precomprimat la starea limită de apariție a fisurilor în secțiuni normale în exploatare, dacă forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de aceeași parte a centrului de greutate al secțiunii, se efectuează astfel:

— Pentru elemente solicitate la încovoiere sau compresiune excentrică

$$N_f \leqslant A_b R_t + A_p(m_0\bar{\sigma}_0 + 200) + A_a(200 - \sigma_a). \qquad \text{(XVI.6)}$$

— Pentru elemente solicitate la încovoiere sau compresiune excentrică

$$M_f^s \leqslant W_f R_t + m_0 \overline{M}_0^s. \qquad \text{(XVI.7)}$$

În relațiile (XVI.6) și (XVI.7):

N_f este solicitarea datorită încărcărilor exterioare;

A_b — aria secțiunii nete de beton a elementului;

A_p — aria secțiunii armăturii pretensionate;

A_a — aria secțiunii armăturii nepretensionate;

$\bar{\sigma}_0$ — efortul unitar de calcul în armătura pretensionată în faza finală;

σ_a — efortul unitar de calcul în armătura nepretensionată în faza finală;

m_0 — coeficientul de imprecizie al forței de precomprimare, egal cu 0,9;

$\overline{M}_0^s$ — momentul forței de precomprimare $\overline{N}_0$ față de limita sîmburelui central, opusă marginii întinse a secțiunii;

M_f^s, W_f, r_s au aceleași semnificații ca în relația (XVI.3).

Cu relația (XVI.6) se verifică și elementele solicitate la întindere centrică din transport sau montaj, cu deosebirea că se înlocuiește $\bar{\sigma}_0$ cu σ_0 și se consideră $\sigma_a = 0$.

Scanned with OKEN Scanner

— Pentru elementele solicitate la întindere excentrică:

— dacă $e_N \geqslant \frac{W_f R_t}{m_0 N_0}$, calculul se face cu relația (XVI.7);

— în toate celelalte cazuri, calculul se face cu relația

$$M_f^{sc} \leqslant W_f R_t + m_0 \overline{M}_0^{sc} \qquad \text{(XVI.8)}$$

în care: e_N este distanța dintre forța exterioară N și forța de precomprimare $\overline{N_0}$ (fig. XVI.3);

M_0^{sc} — momentul fortei de precomprimare $\overline{N_0}$ față de limita convențională a sîmburelui central, opusă marginii întinse a secțiunii;

M_f^{sc} — momentul încărcărilor exterioare față de limita convențională a sîmburelui central opusă marginii întinse a secțiunii;

$m_0 = 0{,}9$.

Distanța de la limita convențională a sîmburelui central pînă la centrul de greutate al secțiunii se determină cu ajutorul relației

$$r_{sc} = \frac{W_f}{A_i}. \qquad \text{(XVI.9)}$$

6) Calculul elementelor de beton precomprimat la starea limită de apariție a fisurilor în secțiuni normale, dacă forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de părți diferite față de centrul de greutate al secțiunii, se face cu ajutorul relației (XVI.1) în care se înlocuiește $M_0^{'s}$ cu $\overline{M}_0^{'s}$.

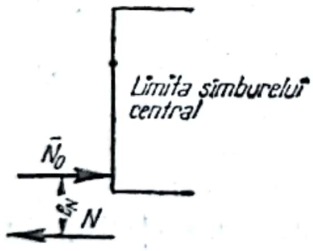


Fig. XVI.3.

7) Pentru elementele mixte prevăzute în zona întinsă cu bare sau dulapi de beton precomprimat calculul se face cu ajutorul relației

$$M_f \leqslant [A_{bp} R_t + A_p (m_0 \overline{\sigma}_0 + 200)] z \qquad \text{(XVI.10)}$$

în care: M_f este momentul încovoietor datorită acțiunii încărcărilor exterioare;

A_{bp} — aria secțiunii de beton a barelor sau dulapilor de beton precomprimat;

A_p — aria secțiunii armăturii pretensionate;

z — brațul de pîrghie al eforturilor interioare din secțiune în stadiul limită de apariție a fisurilor.

Scanned with OKEN Scanner

Poziția axei neutre se determină cu ajutorul relației

$$h - x = \frac{S_c}{A_{bp}} \left(1 + \frac{R_t}{R_t + m_0 \bar{\sigma}_{bp}} \right) \qquad \text{(XVI.11)}$$

La aceste elemente starea limită de apariție a fisurilor în betonul precomprimat din secțiune se determină ca pentru elemente de categoria II de fisurabilitate.

Observație. Relațiile pentru calculul în secțiuni normale la starea limită de apariție a fisurilor la elementele de beton precomprimat, în diversele cazuri arătate la pct. 1—7 sînt repezentate sintetic în tabela XVI.4.

8) Elementele de beton precomprimat din categoria III de fisurabilitate se verifică la starea limită de deschidere a fisurilor ca elemente de beton armat, valoarea deschiderii fisurilor fiind limitată ca în cap. V, VI și VII, cu următoarele observații:

Pentru stabilirea distanței între fisuri λ_f și a valorii coeficientului ψ, A_{bt} se calculează ținînd seama și de acțiunea forței de precomprimare.

Pentru stabilirea deschiderii fisurilor α_f, se înlocuiește σ_a cu $\Delta\sigma_p = \sigma_p - \bar{\sigma}_0$, unde σ_p se calculează în secțiunea fisurată ținînd seama și de acțiunea forței de precomprimare.

Se admite să se considere $\Delta\sigma_p = \frac{R_p - \bar{\sigma}_0}{\bar{n}}$, unde $\bar{n}$ este coeficientul mediu de supraîncărcare.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul XVI.1. Fie un tirant de beton precomprimat (B 400) cu secțiunea transversală de forma unui pătrat cu latura de 25 cm și armat cu 4 bare OL 38∅10 mm; precomprimarea tirantului se realizează centric prin 4 fascicule 12∅5 mm SBP I (în teacă PCV—$\varnothing_{ext}$=32 mm) pretensionate la un efort unitar de calcul σ_0=11 500 kgf/cm^2.

Valoarea caracteristicii deformației în timp a betonului $\bar{\varphi}$=2,8.

Se cere să se verifice tirantul la starea limită de apariție a fisurilor, cunoscînd că, în exploatare, el este solicitat de o forță de întindere centrică avînd valoarea normată N=73,5 tf.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XVI.4

Relații pentru calculul în secțiuni normale la starea limită de apariție a fisurilor

Nr. crt.	Ipoteza de verificare	Condiții speciale	Solicitare exterioară	Condiții de aplicare	Relații de calcul	Observații
1	Transfer	Forța de precomprimare și marginea întinsă se află de părți diferite față de centrul de greutate al secțiunii	Încovoiere	În mod excepțional în exploatare (de exemplu secțiuni solicitate în exploatare de momente încovoietoare de semne contrare, în diferite ipoteze de încărcare)	$m_0 M_0^{'s} \pm M_f^{'s} \leqslant 2 W_0^{'} R_t$	Pentru calculul în faza de exploatare se înlocuiește $M_0^{'s}$ cu $\overline{M}_0^{'s}$
2	Transport sau montaj					
3	Exploatare					
4	Transport, montaj sau exploatare		Întindere centrică	Precomprimare centrică	$N_f \leqslant A_b R_t + A_p(m_0\sigma_0 + 200) + A_a(200 - \sigma_a)$	Pentru calculul la transport sau montaj, în toate relațiile de calcul se înlocuiește: $\overline{\sigma}_0$ cu σ_0; σ_a cu 0; $\overline{N}_0$ cu N_0; $\overline{M}_0^s$ cu M_0^s
5		Forța de precomprimare și marginea întinsă a secțiunii se află de aceeași parte a centrului de greutate al secțiunii	Încovoiere sau compresiune excentrică	Cu excepția cazului de la pct. 8	$M_f^s \leqslant W_f R_t + m_0 \overline{M}_0^s$	
6			Întindere excentrică	$e_N \geqslant \dfrac{W_f R_t}{m_0 \overline{N}_0}$		
7			Întindere excentrică	În toate cazurile cu excepția celor de la pct. 6	$M_f^{sc} \leqslant W_f R_t + m_0 \overline{M}_0^{sc}$	
8			Încovoiere pentru elemente mixte	Porțiunea de beton precomprimat se află în întregime în zona întinsă	$M_f \leqslant [A_{bp} R_t + A_p(m_0\overline{\sigma}_0 + 200)]\, z$; poziția axei neutre se determină cu relația $h - x = \dfrac{S_c}{A_{bp}}\left(1 + \dfrac{R_t}{R_t + m_0\overline{\sigma}_{bp}}\right)$	

Considerînd tirantul în categoria a II-a de fisurabilitate, calculul la starea limită de apariție a fisurilor se face cu relația

$$N_f = N^n \leqslant A_b R_t + A_p(m_0 \bar{\sigma}_0 + 200) + A_a(200 - \sigma_a)$$

$$A_b = 25 \times 25 - 4 \frac{\pi}{4} 3{,}2^2 = 593 \text{ cm}^2$$

$$A_i = 593 + 5{,}15 \times 9{,}4 + 6{,}0 \times 3{,}14 = 660{,}3 \text{ cm}^2$$

$$R_t = 17 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$A_p = 4 \times 2{,}35 = 9{,}40 \text{ cm}^2;\ n_p = 5{,}15$$

$$A_a = 4 \times 0{,}785 = 3{,}14 \text{ cm}^2;\ n_a = 6{,}0$$

$$m_0 = 0{,}9$$

$$\sigma_{ba} = \sigma_{bp} = \frac{9{,}40 \times 11\,500}{660{,}3} = 164 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_0 = \sigma_0 - (\Delta\sigma_r + \Delta\sigma_{\bar{\varphi}}) = 11\,500 - [0{,}08 \times 11\,500 + 5{,}15 \times 2{,}8 \times 164] =$$
$$= 11\,500 - (920 + 2\,360) = 8\,220 \text{ kgf/cm}^2;$$

$$\sigma_a = n_a \bar{\varphi} \sigma_{ba} = 6{,}0 \times 2{,}8 \times 164 = 2\,750 \text{ kgf/cm}^2 > R_a^n = 2\,400 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$N_f = 73\,500 \text{ kgf} < 593 \times 17 + 9{,}4(0{,}9 \times 8\,220 + 200) +$$
$$+ 3{,}14(200 - 2\,400) = 74\,600 \text{ kgf}.$$

Exemplul XVI.2. Să se verifice la starea limită de apariție a fisurilor tirantul din exemplul XVI.1, solicitat de o forță de întindere normată $N^n = 60$ tf și un moment încovoietor $M^n = 600$ kgfm (considerate ca încărcări de scurtă durată).

Se verifică condiția

$$e_N = \frac{M}{N} = \frac{60\,000}{60\,000} = 1{,}0 \text{ cm} < \frac{W_f R_t}{\bar{N}_0} = \frac{4\,640 \times 17}{69\,660} = 1{,}14 \text{ cm}$$

$$W_f = \gamma W_0 \approx 1{,}75 \frac{1}{6} 25^3 = 4\,560 \text{ cm}^3$$

$$R_t = 17 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\bar{N}_0 = 9{,}4 \times 8\,220 - 3{,}14 \times 2\,400 = 69\,660 \text{ kgf}.$$

Verificarea la starea limită de apariție a fisurilor se face cu relația

$$M_f^{sc} \leqslant W_f R_t + m_0 \bar{M}_0^{sc}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$r_{sc} = \frac{W_f}{A_t} = \frac{4\,560}{660{,}3} = 6{,}9 \text{ cm}$$

$$M_f^{sc} = N(e_N + r_{sc}) = 60\,000(1{,}0 + 6{,}9) = 474\,000 \text{ kgfcm}$$

$$\overline{M}_0^{sc} = \overline{N}_0 r_{sc} = 69\,660 \times 6{,}9 = 480\,654 \text{ kgfcm}$$

$M_f^{sc} = 480\,000$ kgfcm $< 4\,560 \times 17 + 0{,}9 \times 480\,654 = 510\,109$ kgfcm.

Exemplul XVI.3. Fie un tub de beton precomprimat cu diametrul interior $D_i = 1\,200$ mm cu grosimea peretelui $\delta = 64$ mm, din beton B 600; armătura pretensionată este constituită din 30⌀5 mm SBP II/m, cu un efort unitar de calcul în faza finală $\bar{\sigma}_0 = 8\,770$ kgf/cm².

Să se verifice tubul la starea limită de apariție a fisurilor la următoarele solicitări de calcul:

— presiunea interioară $p_i = 5$ at;

— moment încovoietor $M = \pm 0{,}4$ tfm/m.

În calcule se neglijează efectul grosimii peretelui tubului.

Tubul se consideră de categoria I de fisurabilitate. Verificarea se face la încărcările de calcul, pentru o secțiune dreptunghiulară solicitată la întindere excentrică.

Mărimea forței de întindere.

$$N = 0{,}5\, D_i\, 100\, p_i = 0{,}5 \times 120 \times 100 \times 5 = 30\,000 \text{ kgf/m}.$$

Excentricitatea forței de întindere datorită încărcărilor exterioare

$$e_N = \frac{M}{N} = \frac{40\,000}{30\,000} = 1{,}33 \text{ cm}.$$

Deoarece

$$e_N = 1{,}33 \text{ cm} > \frac{W_f R_t}{\overline{N}_0} = \frac{1\,180 \times 20}{51\,500} = 0{,}46 \text{ cm},$$

calculul la starea limită de fisurare se face cu relația

$$M_f^s \leqslant W_f R_t + m_0 \overline{M}_0^s$$

$$M_f^s = N\left(e_N + \frac{\delta}{6}\right) = 30\,000\left(1{,}33 + \frac{6{,}4}{6}\right) = 72\,000 \text{ kgfcm}$$

$$W_f = \gamma W_0 = 1{,}75\, \frac{1}{6}\, 100 \times 6{,}4^2 = 1\,180 \text{ cm}^3$$

$$\overline{N}_0 = A_p \bar{\sigma}_0 = 30 \times 0{,}196 \times 8\,770 = 51\,500 \text{ kgf/m}$$

$$m_0 = 0{,}9$$

$$M_0^s = \overline{N}_0 \frac{\delta}{6} = 51\,500 \frac{6{,}4}{6} = 55\,000 \text{ kgfcm}$$

$M_f^s = 72\,000 < 1\,180 \times 20 + 0{,}9 \times 55\,000 = 73\,100$ kgfcm.

Scanned with OKEN Scanner

Exemplul XVI.4. Fie o grindă de beton precomprimat avînd secțiunea transversală din fig. XVI.4. Betonul grinzii este de marca B 400 iar armătura pretensionată este constituită din 6 fascicule ($3 \times 36 \varnothing 5$ și $3 \times 12 \varnothing 5$ SBP II în teacă din tablă).

$\sigma_0 = 11\,200$ kgf/cm²

$\bar{\sigma}_0 = 9\,800$ kgf/cm² în fasciculele 1

și $\bar{\sigma}_0 = 10\,000$ kgf/cm² în fasciculele 2, 3, 4.

Să se verifice secțiunea la starea limită de apariție a fisurilor la transfer și în exploatare, cunoscînd solicitările normate respective

— în faza inițială, $M_g = 75$ tfm;
— în faza finală, $M_q = 415$ tfm.

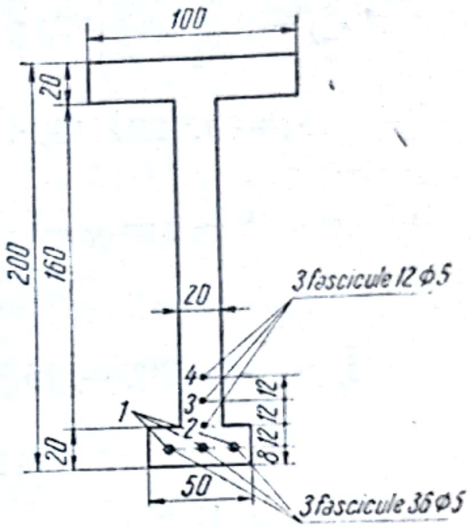


Fig. XVI.4.

Caracteristici geometrice ale secțiunii

$$A_i = 6\,238 \text{ cm}^2;\quad A_p = 3 \times 7{,}05 + 3 \times 2{,}35 = 28{,}20 \text{ cm}^2;$$

$$x = 86{,}5 \text{ cm};$$

$$I_i = 30\,690\,000 \text{ cm}^4;$$

$$W_0 = 268\,000 \text{ cm}^3;\quad W_0' = 355\,000 \text{ cm}^3;$$

$$r_s = \frac{W_0}{A_i} = \frac{26\,000}{6\,238} = 43 \text{ cm};\quad r_i = \frac{W_0'}{A_i} = \frac{355\,000}{6\,238} = 57{,}0 \text{ cm}.$$

Valoarea modulului de rezistență al secțiunii la fisurare, în exploatare, se calculează cu toate cele trei metode prezentate:

— cu valoarea γ din anexa III

$$W_{fl} = 1{,}5 \times 268\,000 = 402\,000 \text{ cm}^3;$$

— cu valoarea γ din tabela XVI.1, pentru $\alpha\beta = 0{,}4$; $\alpha_1 = 0{,}1$; $\alpha_1\beta_1 = 0{,}15$

$$W_{fl} = 1{,}525 \times 268\,000 = 408\,700 \text{ cm}^3$$

— cu relațiile din tabela XVI.2

$$W_f = \frac{2I_c}{h - x} + S_t$$

$$h - x = \frac{S_d}{A_d + \dfrac{A_{(+)} - A_{(-)}}{2}}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$A_d = 80 \times 20 + 200 \times 20 = 5\,600 \text{ cm}^2$$

$$A_{(+)} = 30 \times 20 + 5{,}15 \times 28{,}20 = 745 \text{ cm}^2$$

$$A_{(-)} = 3\frac{3{,}14}{4} 3{,}04^2 + 3\frac{3{,}14}{4} 6{,}0^2 = 21{,}8 + 84{,}9 = 106{,}7 \text{ cm}^2$$

$$S_d = 80 \times 20 \times 190 + 20 \times 200 \frac{200}{2} = 704\,000 \text{ cm}^3$$

$$h - x = \frac{704\,000}{5\,600 + \frac{745{,}0 - 106{,}7}{2}} = 119{,}0 \text{ cm}$$

$$I_c = \frac{1}{3} 20(200 - 119)^3 + \frac{1}{12} 80 \times 20^3 + 80 \times 20 \times 71^2 =$$

$$= 11\,662\,000 \text{ cm}^4$$

$$S_t = 20 \times \frac{119^2}{2} + 30 \times 20 \left(119 - \frac{20}{2}\right) + (3 \times 5{,}15 \times 2{,}35 -$$

$$-21{,}8)87 + (3 \times 5{,}15 \times 7{,}05 - 84{,}9)111 = 210\,800 \text{ cm}^3$$

$$W_{f_3} = \frac{2 \times 11\,662\,000}{119} + 210\,800 = 407\,000 \text{ cm}^3.$$

Se observă că valorile W_f calculate cu ajutorul coeficienților γ din anexa III respectiv din tabela XVI.1 diferă cu numai $-1{,}23\%$ respectiv $+0{,}42\%$ față de valoarea calculată mai exact cu relațiile din tabela XVI.2.

Verificarea la starea limită de apariție a fisurilor la transfer

Calculul se face cu relația

$$m_0 M_0^s - M^s \leqslant 2W_0' R_t$$

$$m_0 = 1{,}1$$

$$M_0^s = N_0(e_0 - r_i) = 315\,840(104{,}5 - 57{,}0) = 15\,000\,000 \text{ kgfcm}$$

$$N_0 = A_p \sigma_0 = 28{,}20 \times 11\,200 = 315\,840 \text{ kgf}$$

$$e_0 = \frac{\Sigma A_{pi} \sigma_0 y_{pi}}{N_0} = \frac{11\,200 \times 3(7{,}05 \times 111 + 2{,}35 \times 87)}{315\,840} = 104{,}5 \text{ cm}$$

$$M_f^s = 7\,500\,000 \text{ kgfcm}$$

$$R_t = 17 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1{,}1 \times 15\,000\,000 - 7\,500\,000 = 9\,000\,000 \text{ kgfcm} < 2 \times 355\,000 \times 17 =$$

$$= 12\,070\,000 \text{ kgfcm.}$$

Scanned with OKEN Scanner

Verificarea la starea limită de apariție a fisurilor în exploatare

Calculul se face cu relația

$$M_f^s \leqslant W_f R_t + m_0 \overline{M}_0^s.$$

$$R_t = 17 \text{ kgf/cm}^2$$

$$m_0 = 0{,}9$$

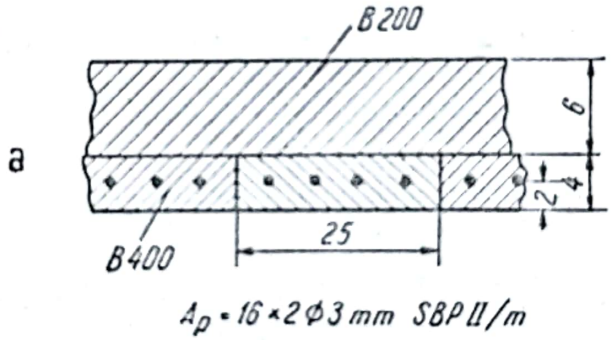
$$\overline{M}_0^s = \overline{N}_0(\overline{e}_0 + r^s) = 277\,000(104+43) = 40\,700\,000 \text{ kgfcm}$$

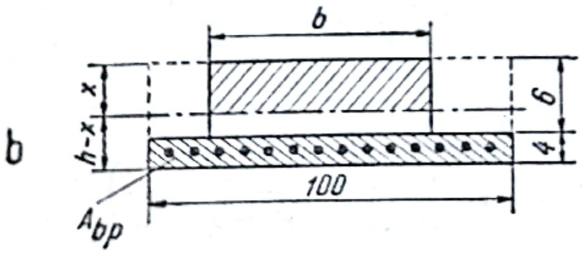
$$\overline{N}_0 = 3(7{,}05 \times 9\,800 + 2{,}35 \times 10\,000) = 277\,000 \text{ kgf}$$

$$\overline{e}_0 = \frac{\Sigma A_{pi}\sigma_0 y_{pi}}{\overline{N}_0} = \frac{3\,(7{,}05 \times 9\,800 \times 111 + 2{,}35 \times 10\,000 \times 87)}{277\,000} = 104 \text{ cm}$$

$$M_f^s = 41\,500\,000 \text{ kgfcm} < 407\,000 \times 17 + 0{,}9 \times 40\,700\,000 =$$
$$= 43\,550\,000 \text{ kgfcm}.$$

Exemplul XVI.5. Fie un planșeu mixt (fig. XVI.5, *a*) realizat prin suprabetonarea unor dulapi de beton precomprimat.





$$b = \frac{E_{B200}}{E_{B400}} 100 = \frac{265000}{350000} 100 \approx 76 \text{cm}$$

Fig. XVI.5.

Eforturile unitare de calcul din armătura pretensionată sînt $\sigma_0 = 11\,200$ kgf/cm²; $\overline{\sigma_0} = 8\,365$ kgf/cm².

Scanned with OKEN Scanner

Se cere să se verifice la starea limită de fisurare, în diversele faze, ținînd seamă de următoarele caracteristici și solicitări de calcul:

faza I — transferul efortului de precomprimare și transportul dulapilor de beton precomprimat se face atunci cînd betonul are o rezistență $R=0{,}6\,R_{28}=$ $=240$ kgf/cm^2.

$M^c_{gI}=200$ kgfm/m (inclusiv impactul);

faza II — suprabetonarea se face atunci cînd rezistența betonului din dulapi este $R=R_{28}=400$ kgf/cm^2

$M^c_{gII}=140$ kgfm/m (ținînd seama de rezemările intermediare în timpul suprabetonării);

faza III — solicitarea de calcul în exploatare cu moment total de calcul $M^c=1\,400$ kgfm/m.

În faza I și II dulapii de beton precomprimat lucrează izolat. Verificarea în ambele faze se face cu relația

$$M^s_f \leqslant W_f R_t + m_0 \overline{M}^s_0.$$

Cazul cel mai defavorabil în faza I

$$W_f = \gamma W_0 = 1{,}75 \frac{1}{6} 100 \times 4^2 = 467 \text{ cm}^3$$

$$R_t = 11{,}1 \text{ kgf/cm}^2.$$

$$m_0 = 0{,}9.$$

$$\overline{M}^s_0 = \overline{N}_0 r_s = 25\,400 \times 0{,}67 = 16\,930 \text{ kgfcm}.$$

$$\overline{N}_0 = A_p \overline{\sigma}_0 = 2{,}26 \times 11\,200 = 25\,400 \text{ kgf}.$$

$$200\,000 < 467 \times 11{,}1 + 0{,}9 \times 16\,930 = 20\,420 \text{ kgfcm}.$$

În faza III dulapii lucrează împreună cu betonul supraturnat ca secțiune mixtă (fig. XVI.5, *b*). Calculul se face cu relația

$$M^s_f \leqslant [A_{bp} R_t + A_p (m_0 \overline{\sigma}_0 + 200)] z$$

$$h - x = 10 - x = \frac{S_c}{A_t}\left(1 + \frac{R_t}{R_t + m_0 \overline{\sigma}_{bp}}\right) =$$

$$= \frac{\frac{1}{2} 76 x^2}{409{,}4}\left(1 + \frac{17}{17 + 0{,}9 \times 46{,}2}\right) = 0{,}120 x^2$$

$$m_0 = 0{,}9$$

$$\overline{\sigma}_{bp} = \frac{2{,}26 \times 8\,365}{409{,}4} = 46{,}2 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_t = 4 \times 100 + (5{,}15 - 1) 2{,}26 = 409{,}4 \text{ cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Rezultă $x=5{,}9$ cm, deci $z=h_0-\frac{x}{3}=8{,}0-\frac{5{,}9}{3}\approx 6{,}0$ cm.

$$140\,000 \leqslant [(400\times 17+2{,}26(0{,}9\times 8\,365+200)]\,6{,}0=146\,000 \text{ kgf/cm}.$$

3. Calculul la starea limită de apariție a fisurilor înclinate

a. *Relații de calcul*

Elementele de beton precomprimat solicitate la încovoiere, compresiune excentrică sau întindere excentrică se verifică la starea limită de apariție a fisurilor în secțiuni înclinate față de axa elementului cu relația

$$\sigma_{b1}=\frac{\sigma_{bx}+\sigma_{by}}{2}-\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bx}-\sigma_{by}}{2}\right)^2+\tau_b^2}\leqslant 1{,}5R_t. \qquad \text{(XVI.12)}$$

La elementele cu pereți subțiri având grosimea inimii $b<\frac{1}{15}h$, se verifică suplimentar și condiția

$$\sigma_{b2}=\frac{\sigma_{bx}+\sigma_{by}}{2}+\sqrt{\left(\frac{\sigma_{bx}-\sigma_{by}}{2}\right)^2+\tau_b^2}\leqslant aR_{pr}. \qquad \text{(XVI.13)}$$

În cazul acțiunii concomitente a unui moment de torsiune, se va ține seamă și de efortul unitar tangențial datorit torsiunii, calculat ca pentru un material elastic și omogen.

Semnificația și valorile de calcul ale diferitelor notații din relațiile (XVI.12) și (XVI.13) sînt următoarele:

$a=1{,}0$ pentru elemente din categoria I de fisurabilitate;

$a=0{,}8$ pentru elemente din categoria II de fisurabilitate;

σ_{b1} respectiv σ_{b2} este efortul unitar principal de întindere, respectiv de compresiune; efortul unitar σ_{b1} se consideră în valoare absolută;

σ_{bx} — efortul unitar normal în beton, la nivelul fibrei considerate; se consideră cu semnul + în cazul compresiunii și cu semnul — în cazul întinderii;

σ_{by} — efortul unitar de compresiune în beton, pe direcția perpendiculară pe axa elementului (dacă se prevăd etrieri pretensionați);

Scanned with OKEN Scanner

τ_b — efortul unitar tangențial la nivelul fibrei considerate; τ_b se poate calcula cu relația generală

$$\tau_b = \frac{1}{b}\left[\left(\pm Q \pm \frac{M}{I_i}\frac{dI_i}{dx}\right)\frac{S'_i}{I_i} - \left(N - \frac{M}{y_0}\right)\frac{S'_i}{I_i}\operatorname{tg}\beta + \frac{N}{A_i}A'_i\frac{dA_i}{dx}\right] \quad \text{(XVI.14)}$$

în care: b este lățimea secțiunii, la nivelul fibrei considerate;

A_i — aria secțiunii ideale;

A'_i — aria porțiunii din secțiunea ideală situată între fibra considerată și marginea neînclinată a secțiunii (pentru fibra de la marginea înclinată, $A'_i = A_i$);

S'_i — momentul static al suprafeței de arie A'_i față de centrul de greutate al secțiunii (pentru fibra de la marginea înclinată, $S' = 0$);

I_i — momentul de inerție al secțiunii ideale;

$Q = Q_{ext} - Q_p$;

Q_{ext} — forța tăietoare din secțiune, datorită încărcărilor exterioare;

Q_p — valoarea proiecției pe direcția forței tăietoare a forței de pretensionare în faza considerată, multiplicată cu coeficientul de imprecizie $m_0 = 1{,}1$ sau $0{,}9$, după cum este mai defavorabil; $Q_p = \Sigma m_0 A_p \sigma_0 \sin\alpha$ — la transfer, transport sau montaj; $Q_p = \overline{Q}_p = \Sigma m_0 A_p \overline{\sigma}_0 \sin\alpha$ — în exploatare;

y_0 — distanța de la centrul de greutate pînă la marginea neînclinată a secțiunii.

Alegerea semnelor + sau — în relația (XVI.14) se face, în funcție de sensul relativ al forței tăietoare Q și al momentului încovoietor M, în conformitate cu indicațiile din tabela XVI.5.

Forța axială N se introduce în relația XVI.14, cu semnul + în cazul unei forțe de compresiune și cu semnul — în cazul unei forțe de întindere.

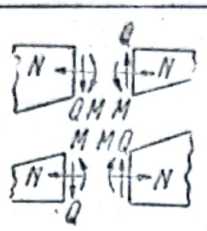
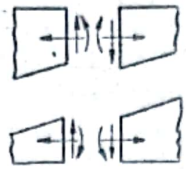
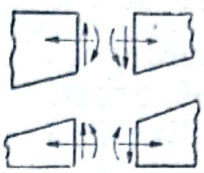
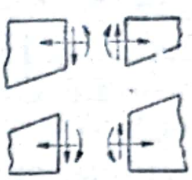
Valorile $\frac{dI_i}{dx}$ și $\frac{dA_i}{dx}$ se introduc în relația (XVI.14) întotdeauna cu semnul +.

Observație. În normativul P.8-62, relația (XVI.14) este dată sub forma particulară pentru cazul curent al grinzilor cu înălțime variabilă, simplu rezemate

Scanned with OKEN Scanner

Tabela XVI.5

Convenția de semne pentru relația (XVI.14)

Pentru termenul din relația (XVI.14) se alege semnul				
Q	+	+	−	−
$\frac{M}{I}\frac{dI}{dx}$	−	+	−	+

Pentru elementele cu înălțime constantă, relația (XVI.14) devine

$$\tau_b = \frac{QS_i'}{bI_i}. \qquad \text{(XVI.15)}$$

Pentru calculul valorilor τ_b cu relația (XVI.14) se pot face înlocuirile:

— la elemente cu secțiune dreptunghiulară sau T (cu talpa la marginea neînclinată)

$$\frac{dA_i}{dx} \approx b \operatorname{tg}\gamma\,;\ \frac{dI_i}{dx} \approx by_0'^2 \operatorname{tg}\gamma\,;\ \operatorname{tg}\beta \approx \frac{by_0'}{A_i}\operatorname{tg}\gamma\,;$$

— la elemente cu secțiune T (cu talpa la marginea înclinată) sau I:

$$\frac{dA_i}{dx} \approx b \operatorname{tg}\gamma\,;\ \frac{dI_i}{dx} \approx y_0' \operatorname{tg}\gamma\,(by_0' + 3A_i)\,;\ \operatorname{tg}\beta \approx \frac{by_0'}{A_i}\operatorname{tg}\gamma\,;$$

în care:

$y_0' = h - y_0$ este distanța de la centrul de greutate al secțiunii pînă la marginea înclinată a secțiunii (măsurată în planul secțiunii considerate);

γ — unghiul dintre marginea înclinată și marginea neînclinată a elementului în secțiunea considerată.

Observație. În toate notațiile și relațiile de calcul de la acest paragraf s-a denumit margine neînclinată a elementului, marginea normală pe secțiunea considerată.

Scanned with OKEN Scanner

Verificarea elementelor de beton precomprimat la starea limită de apariție a fisurilor înclinate se face:

— în lungul elementelor, în secțiunile cele mai periculoase, în funcție de diagrama forțelor tăietoare și a momentelor încovoietoare și de variația dimensiunilor secțiunilor;

— în cadrul aceleiași secțiuni, la nivelul centrului de greutate al secțiunii și în punctele de modificare a lățimii secțiunii; eforturile principale la marginile secțiunii se determină numai în cazul acțiunii concomitente a unui moment de torsiune.

La elementele cu armături preîntinse ancorate prin aderență este obligatorie verificarea la starea limită de apariție a fisurilor înclinate, pornind de la marginea reazemului sau din diverse puncte pe lungimea de ancorare a armăturilor; la această verificare se consideră că forța de precomprimare variază liniar de la valoarea zero la capătul elementului pînă la valoarea de calcul de la sfîrșitul lungimii de ancorare.

Lungimile de ancorare ale armăturilor preîntinse alcătuite din sîrme împletite sînt date în tabela XVI.6 în funcție de rezistența betonului la data transferului.

Tabela XVI.6

Lungimea de ancorare la armături alcătuite din sîrme împletite cîte 2 sau cîte 3

Rezistența pe cub a betonului la transfer, kgf/cm²	250	300	400	500
Lungimea de ancorare	150 ∅	110 ∅	80 ∅	80 ∅

în care ∅ este diametrul unei sîrme.

Observații

a) Dacă transferul are loc în mod brusc, de exemplu prin tăierea sîrmelor sub efort, se consideră că lungimea de ancorare l se mărește cu 25%.

b) Nu se recomandă folosirea elementelor cu armătură preîntinsă sub formă de sîrme împletite în cazul prezenței unor forțe tăietoare importante.

b. *Exemple de calcul*

Exemplul XVI.6. Să se verifice grinda din fig. XVI.6 la starea limită de apariție a fisurilor înclinate în dreptul punctului B; grinda este dreptunghiulară în secțiune transversală și este executată din beton de marcă B 400; precomprimarea

Scanned with OKEN Scanner

se realizează cu 6 fascicule din 36 ∅ 5 mm SBP I, dispuse ca în figură; efortul unitar de calcul în secțiunea considerată este $\bar{\sigma}_0 = 9\,200$ kgf/cm².

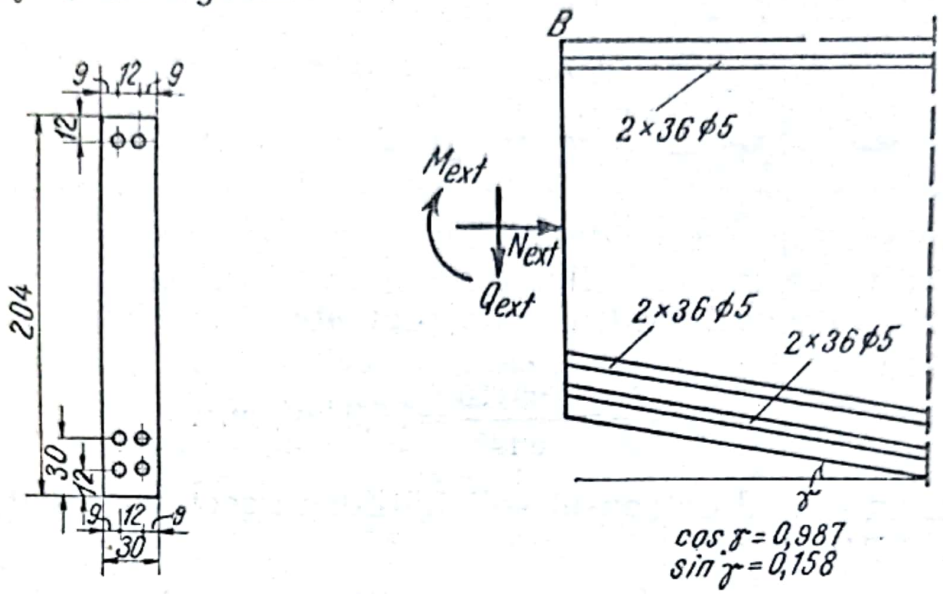


Fig. XVI.6.

Solicitările exterioare în secțiunea în care se face verificarea sînt

$$N_{ext} = 120 \text{ tf};$$

$$Q_{ext} = 200 \text{ tf};$$

$$M_{ext} = 185 \text{ tfm}.$$

Solicitările datorite precomprimării

$$\bar{N}_p = m_0[A_p \cos\gamma + A'_p]\bar{\sigma}_0 = 0{,}9[28{,}20 \times 0{,}987 + 14{,}10]9\,200 = 348 \text{ tf}.$$

$$\bar{Q}_p = -m_0 A_p \sin\gamma\,\bar{\sigma}_0 = -0{,}9 \times 28{,}20 \times 0{,}158 \times 9\,200 = -37 \text{ tf}.$$

$$\bar{M}_p = -m_0\left[A_p \cos\gamma\left(\frac{h}{2} - \frac{0{,}30}{2} - 0{,}12\right) - A'_p\left(\frac{h}{2} - 0{,}12\right)\right]\bar{\sigma}_0 =$$

$$= -0{,}9\left[28{,}20 \times 0{,}987\left(\frac{2{,}04}{2} - 0{,}27\right) - 14{,}10\left(\frac{2{,}04}{2} - 0{,}12\right)\right]9\,200 = -68 \text{ tfm}.$$

Rezultă

$$N = 120 + 348 = 468 \text{ tf};$$

$$Q = 200 - 37 = 163 \text{ tf};$$

$$M = 185 - 68 = 117 \text{ tfm}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Efortul unitar minim, normal pe secțiune

$$\sigma_{b\,min} = \frac{N}{A} - \frac{M}{I}\,\frac{h}{2} = \frac{468\,000}{6\,120} - \frac{11\,700\,000}{21\,100\,000}\,102 = 19{,}7\ \text{kgf/cm}^2 > 0$$

$$A \approx 30 \times 204 = 6\,120\ \text{cm}^2;$$

$$I \approx \frac{1}{12}\,30 \times 204^3 = 21\,100\,000\ \text{cm}^4,$$

deci în secțiunea considerată nu apar fisuri normale.

Verificarea la starea limită de apariție a fisurilor înclinate se face în dreptul centrului de greutate al secțiunii (la mijlocul înălțimii)

$$\sigma_{bx} = \frac{N}{A} = \frac{468\,000}{6\,120} = 76{,}2\ \text{kgf/cm}^2.$$

Ținînd seama de sensul solicitărilor în secțiune, relația de calcul (XVI.14) este

$$\tau_b = \frac{1}{b}\left[\left(-Q + \frac{M}{I_i}\,\frac{\mathrm{d}I_i}{\mathrm{d}x}\right)\frac{S_i'}{I_i} - \left(N - \frac{M}{y_0}\right)\frac{S_i'}{I_i}\,\mathrm{tg}\,\beta + \frac{N}{A_i^2}\,A'\,\frac{\mathrm{d}A_i}{\mathrm{d}x}\right] \approx$$

$$\approx \left(-\frac{Q}{b} + \frac{M}{I}y_0'^2\,\mathrm{tg}\,\gamma\right)\frac{S'}{I} - \left(N - \frac{M}{y_0}\right)\frac{S'}{I}\,\frac{1}{A}\,y_0'\,\mathrm{tg}\,\gamma + \frac{N}{A}\,\frac{A'}{A}\,\mathrm{tg}\,\gamma$$

$$S' = \frac{1}{2}\,30 \times 102^2 = 156\,000\ \text{cm}^3;\ \frac{A'}{A} = 0{,}5;$$

$$y_0 = y_0' = 102;\ \frac{S'}{I} = \frac{156\,000}{21\,100\,000} = 0{,}0074$$

$$\tau_b = \left(-\frac{163\,000}{30} + \frac{11\,700\,000}{21\,100\,000}\,102^2 \times 0{,}16\right)0{,}0074 -$$

$$-\left(468\,000 - \frac{11\,700\,000}{102}\right)0{,}0074\,\frac{1}{6\,120}\,102 \times 0{,}16 +$$

$$+\frac{468\,000}{6\,120}\,0{,}5 \times 0{,}16 = -33{,}5 - 6{,}95 + 6{,}1 = -34{,}35\ \text{kgf/cm}^2.$$

Verificarea la starea limită de apariție a fisurilor înclinate

$$\sigma_{b1} = \frac{\sigma_{bx}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{bx}}{2}\right)^2 + \tau_b^2} \leqslant 1{,}5R_t$$

$$\sigma_{b1} = \frac{76{,}2}{2} - \sqrt{\left(\frac{76{,}2}{2}\right)^2 + 34{,}35^2} = 13{,}1\ \text{kgf/cm}^2 < 1{,}5 \times 17 =$$

$$= 25{,}5\ \text{kgf/cm}^2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Exemplul XVI.7. Să se verifice la starea limită de apariție a fisurilor înclinate o grindă de beton precomprimat cu înălțime constantă având secțiunea transversală reprezentată în fig. XVI.7 ($A_i \approx 1\,934$ cm^2; $I_i \approx 3\,380\,000$ cm^4; $x \approx 52$ cm).

Precomprimarea se efectuează atunci cînd rezistența betonului este egală cu 400 kgf/cm^2.

Armătura pretensionată este constituită din 3 fascicule (*1*) 12 ∅ 5 mm SBP I dispuse paralel cu axa grinzii și 3 fascicule (*2, 3, 4*) 12 ∅ 5 mm SBP I înclinate cu unghiul de 20° față de axa grinzii, eforturile unitare de calcul fiind $\sigma_0 = 12\,500$ kgf/cm^2 și $\bar{\sigma}_0 = 10\,200$ kgf/cm^2 pentru fasciculele înclinate, respectiv $\bar{\sigma}_0 = 9\,500$ kgf/cm^2 pentru fasciculele rectilinii.

Solicitările exterioare normate în secțiune:

— în faza inițială $Q_{max} = 4{,}3$ tf; $M = 3{,}1$ tfm;

— în faza finală $Q_{max} = 26{,}3$ tf; $M = 19{,}5$ tfm.

Solicitări datorite forței de precomprimare:

— în faza inițială

$$N_0 = \Sigma A_p \sigma_0 \cos\alpha = 3 \times 2{,}35 \times 12\,500(1 + 0{,}94) = 171\,000 \text{ kgf}$$

$$e_0 = \frac{\Sigma A_p \sigma_0 \cos\alpha\, y_p}{N_0} = \frac{3 \times 2{,}35 \times 12\,500\,(55{,}4 + 0{,}94 \times 1{,}4)}{171\,000} = 29{,}2 \text{ cm}$$

$$M_p = -m_0 N_0 e_0 = -1{,}1 \times 171\,000 \times 29{,}2 = -5\,500\,000 \text{ kgfcm}$$

$$Q_p = -\Sigma m_0 A_p \sigma_0 \sin\alpha = -1{,}1 \times 3 \times 2{,}35 \times 12\,500 \times 0{,}342 = -33\,200 \text{ kgf};$$

— în faza finală

$$\bar{N}_0 = \Sigma A_p \bar{\sigma}_0 \cos\alpha = 3 \times 2{,}35(9\,500 + 10\,200 \times 0{,}94) = 134\,500 \text{ kgf}$$

$$\bar{e}_0 = \frac{\Sigma A_p \bar{\sigma}_0 \cos\alpha\, y_p}{\bar{N}_0} = \frac{3 \times 2{,}35\,(9\,500 \times 55{,}4 + 10\,200 \times 0{,}94 \times 1{,}4)}{134\,000} = 28{,}5 \text{ cm}$$

$$\bar{M}_p = -m_0 \bar{N}_0 \bar{e}_0 = -0{,}9 \times 134\,500 \times 28{,}5 = -3\,460\,000 \text{ kgfcm}$$

$$\bar{Q}_p = -\Sigma m_0 A_p \bar{\sigma}_0 \sin\alpha = -0{,}9 \times 3 \times 2{,}35 \times 10\,200 \times 0{,}342 = -22\,200 \text{ kgf}.$$

Solicitări totale:

— în faza inițială

$$N = m_0 N_0 = 1{,}1 \times 171\,000 = 188\,100 \text{ kgf}$$

$$M = M_{ext} + M_p = 310\,000 - 5\,500\,000 = -5\,190\,000 \text{ kgfcm}$$

$$Q = Q_{ext} + Q_p = 4\,300 - 33\,200 = -28\,900 \text{ kgf};$$

Scanned with OKEN Scanner

— în faza finală:

$$\overline{N} = m_0 \overline{N}_0 = 0{,}9 \times 134\,500 = 121\,050 \text{ kgf}$$

$$\overline{M} = M_{ext} + \overline{M}_p = 1\,950\,000 - 3\,460\,000 = -1\,510\,000 \text{ kgfcm}$$

$$\overline{Q} = Q_{ext} + \overline{Q}_p = 26\,300 - 22\,200 = 4\,100 \text{ kgf.}$$

Ţinînd seama de valorile reduse ale forţei tăietoare şi momentului încovoietor, în faza finală, este suficient a se face verificarea la starea limită de apariţie a fisurilor înclinate numai în faza iniţială

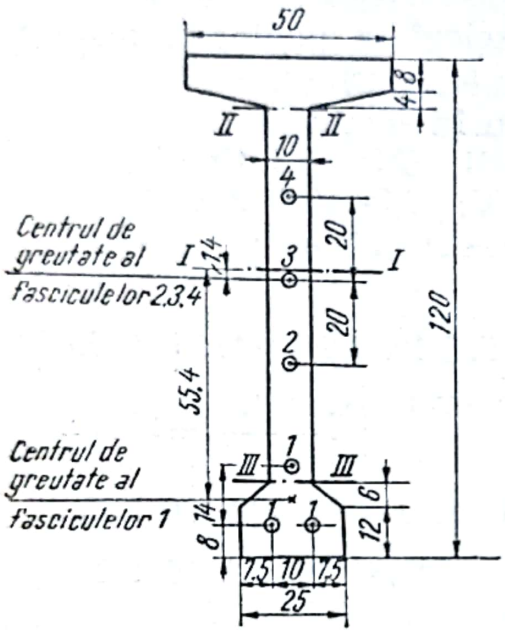


Fig. XVI.7.

$$\tau_b = \frac{Q}{bI_i} = \frac{28\,900}{10 \times 3\,380\,000} =$$

$$= 0{,}000855 \text{ kgf/cm}^5$$

$$\frac{M}{I_i} = \frac{5\,190\,000}{3\,380\,000} = 1{,}54 \text{ kgf/cm}^3$$

$$\frac{N}{A_i} = \frac{188\,100}{1\,934} = 97{,}5 \text{ kgf/cm}^2.$$

Verificarea se face în cele trei fibre (*I—I*, *II—II* şi *III—III*) indicate în fig. XVI.7.

$$\sigma_{b1} = +\frac{\sigma_{bx}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{bx}}{2}\right)^2 + \tau_b^2} \leqslant 1{,}5R_t = 1{,}5 \times 17 = 25{,}5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{N}{A_i} + \frac{M}{I_i} y \; ; \; \tau_b = \frac{Q}{bI_i} S_i.$$

Secţiunea	$\frac{N}{A_i}$ kgf/cm²	y cm	$\frac{M}{I_i} y$ kgf/cm²	σ_{bx} kgf/cm²	S_i cm³	τ_b kgf/cm²	σ_{b1} kgf/cm²
I	97,5	0	0	97,5	32 260	27,6	7,25
II	97,5	—40	—61,6	35,9	18 760	16,0	2,45
III	97,5	50	77	174,5	19 760	16,9	2,85

După cum rezultă din tabelă valorile maxime σ_{b1} nu depăşesc în nici o fibră valoarea limită 1,5 R_t.

Scanned with OKEN Scanner

XVII

CALCULUL ELEMENTELOR DE BETON PRECOMPRIMAT LA STAREA LIMITĂ DE DEFORMAȚIE

Deformația elementelor de beton precomprimat se calculează ținînd seama de regulile staticii construcțiilor, ca pentru materiale omogene și izotrope la elementele din categoria I și II de fisurabilitate, respectiv ca pentru elemente de beton armat la elementele din categoria III de fisurabilitate (la care apar fisuri în ipoteza de încărcare considerată).

Verificarea la starea limită de deformație se face punînd condiția ca săgeata maximă, respectiv contrasăgeata maximă, să nu depășească valorile limită.

Valoarea săgeții și contrasăgeții se determină în raport cu axa deformată a elementului, în secțiunea considerată, imediat după terminarea precomprimării (la transfer); la calculul acestei poziții relative se ia în considerație acțiunea de scurtă durată a forței de precomprimare N_0 multiplicată cu coeficientul de imprecizie m_0, care are valorile

$m_0=0{,}9$ la calculul săgeții maxime;

$m_0=1{,}1$ la calculul contrasăgeții maxime.

Valorile limită ale săgeții (respectiv contrasăgeții) elementelor de beton precomprimat sînt date în tabela VI.24. Pentru cazurile neprevăzute în tabelă valorile limită se stabilesc prin prescripții speciale.

Săgeata, respectiv contrasăgeata maximă, se calculează ținînd seama de acțiunea următoarelor încărcări:

a) pentru săgeata maximă

— acțiunea în timp a forței de precomprimare considerată ca o încărcare de lungă durată, cu valoarea $0{,}9\ N_0$;

Scanned with OKEN Scanner

— acţiunea tuturor încărcărilor exterioare de lungă durată (definite în cap. VI), considerate cu valoarea lor normată;

— acţiunea încărcărilor temporare de scurtă durată considerate cu valoarea lor normată.

Pentru grinzile căilor de rulare, săgeata maximă se determină numai sub acţiunea încărcărilor din podul rulant;

b) pentru contrasăgeata maximă

— acţiunea în timp a forţei de precomprimare considerată ca o încărcare de lungă durată, cu valoarea $1{,}1\,N_0$;

— acţiunea încărcărilor exterioare de lungă durată care acţionează în mod cert în primii trei ani de la precomprimarea elementului respectiv; încărcările exterioare se consideră în calcul cu valorile normate.

Observaţii. La calculul săgeţii unui planşeu pe care se reazemă pereţii despărţitori, greutatea acestor pereţi se consideră în calcul în conformitate cu indicaţiile din VI.C,2.

La elemente cu condiţii speciale de exploatare, calculul săgeţii se poate face în conformitate cu prescripţii speciale.

La calculul deformaţiilor elementelor de beton precomprimat din categoria I şi II de fisurabilitate se ţine seama de modulii de rigiditate K determinaţi cu relaţiile din tabela XVII.1.

Tabela XVII.1

Relaţii de calcul pentru modulul de rigiditate K al elementelor de beton precomprimat din categoria I şi II de fisurabilitate

Caracterul încărcărilor	Solicitări axiale	Moment încovoietor
Încărcări de scurtă durată	$K_s = 0{,}85\,E_b A_i$	$K_s = 0{,}85\,E_b I_i$
Încărcări de lungă durată (în conformitate cu prevederile cap. VI, C, 1)	$K_d = 0{,}85\,\frac{E_b}{1+\varphi}\,A_i$	$K_d = 0{,}85\,\frac{E_b}{1+\varphi}\,I_i$

Valoarea modulului de elasticitate al betonului E_b, se consideră în calcul în funcţie de rezistenţa betonului la data precomprimării, respectiv la data aplicării încărcării considerate.

Valoarea caracteristicii deformaţiei în timp a betonului se determină în conformitate cu indicaţiile din cap. XIII, E, 3

Scanned with OKEN Scanner

corespunzător valorii maxime a efortului unitar normal din beton, în secțiunea considerată.

La calculul deformațiilor elementelor din categoria III de fisurabilitate, pentru ipotezele de încărcare în care elementul lucrează cu fisuri, modulul de rigiditate K se determină ca pentru elemente de beton armat, în conformitate cu indicațiile din cap. VI, C. La determinarea coeficientului ψ, valoarea A_{bt} se calculează ținînd seama și de acțiunea forței de precomprimare $m_0 \overline{N}_0$. În aceste cazuri, valorile ξ și ζ pentru determinarea valorii β_1 se calculează ca pentru elemente de beton armat solicitate la compresiune excentrică.

Scanned with OKEN Scanner

XVIII

CALCULUL ZONELOR DE ANCORARE

1. Relaţii de calcul

1) Zona de ancorare se verifică la:

— compresiune locală, sub fiecare ancoraj;

— eforturile transversale de întindere, în dreptul fiecărui ancoraj;

— eforturile transversale de întindere, între ancoraje.

În cazul elementelor de beton precomprimat cu armături preîntinse realizate din sîrme, zona de ancorare se verifică numai la eforturile transversale de întindere, între armăturile A_p şi A'_p.

Lungimea zonei de ancorare, în cazul armăturilor ancorate la capătul elementului, se poate lua egală cu înălţimea secţiunii transversale a elementului.

În cazul armăturilor postîntinse ancorate în deschidere, lungimea zonei de ancorare se extinde în plus şi în spatele ancorajului, pe o lungime egală cu jumătate din înălţimea secţiunii transversale a elementului.

În cazul armăturilor preîntinse, lungimea zonei de ancorare se consideră începînd de la capătul elementului.

2) Verificarea la compresiune locală, sub fiecare ancoraj, se face cu relaţia

$$m_0 A_p \sigma_k \leqslant \xi R^i_{pr} A_l + R_{as} A_{as} \qquad \text{(XVIII.1)}$$

în care: A_p este aria secţiunii armăturii postîntinse;

σ_k — efortul unitar de control din armătura pretensionată;

Scanned with OKEN Scanner

$m_0 = 1{,}1$ — coeficientul de imprecizie al forței de precomprimare;

R^i_{pr} — rezistența prismatică de calcul a betonului în faza inițială, în funcție de rezistența pe cub a acestuia în momentul transferului;

ξ — coeficient prin care se ține seamă de sporirea capacității portante a betonului solicitat la compresiune locală; valoarea acestui coeficient se determină cu relația

$$\xi = r\left(4 - 4\sqrt{\frac{A_l}{A}} + \frac{A_l}{A}\right) = r\left(2 - \sqrt{\frac{A_l}{A}}\right)^2 \quad \text{(XVIII.2)}$$

unde: r este un coeficient prin care se ține seama de influența flexibilității eventualelor plăci de repartiție de sub ancoraj; valoarea acestui coeficient se determină cu relația

$$r = \left[\frac{2 - \sqrt{\frac{\bar{A}_l}{A}}}{2 - \sqrt{\frac{A_l}{A}}}\right]^2 \frac{\bar{A}_l}{A_l}\left(1{,}20 - 0{,}20\sqrt{\frac{\bar{A}_l}{A_l}}\right) \leqslant 1. \quad \text{(XVIII.3)}$$

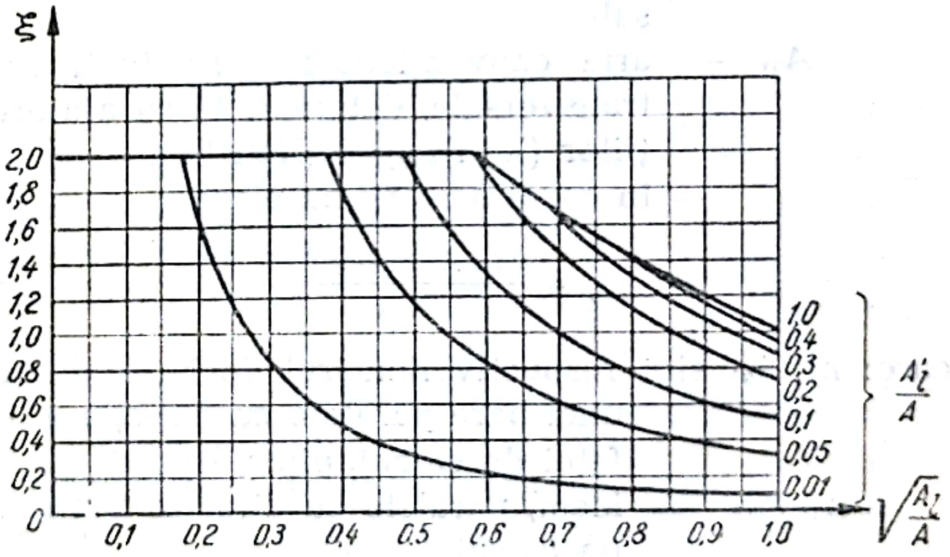


Fig. XVIII.1.

Dacă ancorajul reazemă direct pe beton (fără plăci de repartiție) se consideră $r = 1{,}0$. Pe baza relațiilor (XVIII.2) și (XVIII.3) s-au trasat diagramele din fig. XVIII.1, pentru calculul valorii ξ, în funcție de valorile rapoartelor $\frac{A_l}{A}$, și $\frac{A'_l}{A}$

Scanned with OKEN Scanner

în cazul ancorajelor rezemate prin intermediul unor plăci de repartiție.

În relațiile (XVIII.2) și (XVIII.3):

$A_l = 2a_0 \times 2b_0$ este aria suprafeței nete efective de rezemare a ancorajului sau a plăcii de repartiție pe beton;

$$\overline{A}_l = A'_l \left(2 - \frac{A'_l}{A}\right)$$

A'_l — aria suprafeței nete de rezemare a ancorajului pe placa de repartiție (fig. XVIII.2);

$A = 2a \times 2b$ — aria suprafeței nete de calcul pe care se consideră că se repartizează încărcarea locală, în zona de ancorare. Drept suprafață de calcul se consideră o suprafață care are același centru de greutate și aceleași axe de simetrie ca și suprafața de rezemare a ancorajului (fig. XVIII.3, *a*); în cazul mai multor ancoraje alăturate, suprafețele de calcul trebuie să nu se suprapună (fig. XVIII.3, *b*);

R_{as} — rezistența de calcul a armăturii transversale;

A_{as} — aria convențională a secțiunii armăturii transversale, determinată cu ajutorul relațiilor (XVIII.4) și (XVIII.5):

— în cazul armării cu plase

$$A_{as} = \frac{2\,(n_1 A_{a1} a + n_2 A_{a2} b)}{s} \qquad \text{(XVIII.4)}$$

în care: n_1, A_{a1} sînt respectiv numărul de bare și secțiunea unei bare paralele cu direcția a a suprafeței de calcul, dintr-o plasă;

n_2, A'_{a2} — idem, paralele cu direcția b a suprafeței de calcul;

s este distanța dintre plase; ținînd seamă că prima plasă (situată în mod obligatoriu la 3—4 cm sub suprafața de rezemare a ancorajului) are importanță hotărîtoare pentru rezistența betonului la compresiune locală, se poate admite în calcul

Scanned with OKEN Scanner

$s \approx 8$ cm, astfel încît relația (XIII.4) devine

$$A_{as} \approx \frac{1}{4}\left(n_1 A_{a1} a + n_2 A_{a2} b\right) \qquad \text{(XVIII.4 a)}$$

— în cazul armării cu fretă

$$A_{as} = \frac{\pi d_s A_s}{s} \qquad \text{(XVIII.5)}$$

în care: d_s este diametrul interior al fretei;
A_s — aria secțiunii transversale a fretei;
s — pasul fretei.

În cazul ancorajelor cu secțiune circulară, suprafața de rezemare a acestora se înlocuiește, în calcul, cu pătratul echivalent.

Dacă placa de repartiție nu este asemenea și simetrică în raport cu ancorajul, se ia în considerație numai porțiunea din suprafața plăcii care este asemenea cu suprafața ancorajului și are același centru de greutate.

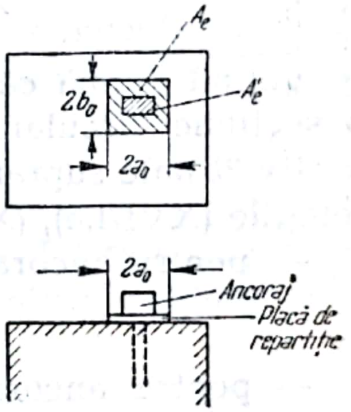


Fig. XVIII.2.

Plăcile de repartiție introduse între ancoraje și suprafața betonului trebuie să respecte prescripțiile constructive de la cap. XII.

3) Eforturile transversale de întindere, în dreptul fiecărui ancoraj, trebuie preluate prin armăturile transversale dis-

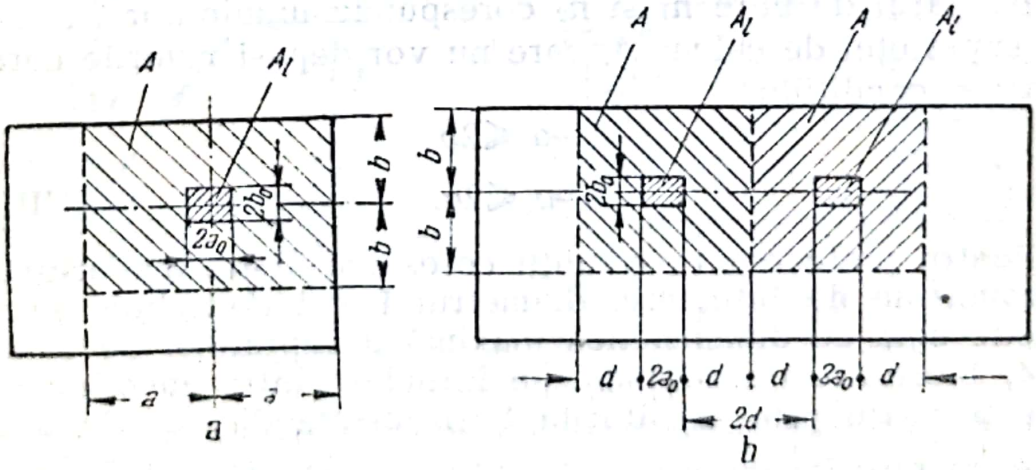


Fig. XVIII.3.

puse în adîncime pînă la o distanță egală cu 4/3 a, respectiv 4/3 b de la suprafața de rezemare a ancorajului.

Verificarea zonei de ancorare la aceste eforturi (fig. XVIII.4) se face cu relațiile (XVIII.6) și (XVIII.7):

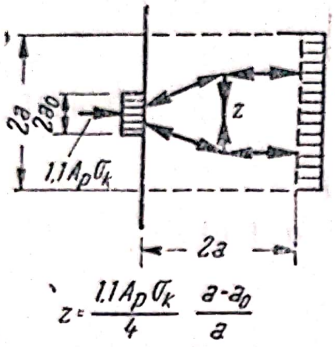


Fig. XVIII.4.

— în cazul armării cu plase

$$\Sigma n_1 A_{a1} R_{as} \geqslant \frac{1{,}1 A_p \sigma_k}{4} \frac{a - a_0}{a} \quad \text{(XVIII.6)}$$

respectiv

$$\Sigma n_2 A_{a2} R_{as} \geqslant \frac{1{,}1\, A_p \sigma_k}{4} \frac{b - b_0}{b} \quad \text{(XVIII.6 a)}$$

în care Σ se referă la armăturile aflate pe adîncimile 4/3 a, respectiv 4/3 b, menționate mai înainte;

— în cazul armării cu frete

$$A_a R_{as} \geqslant \frac{1{,}1 A_p \sigma_k}{10} \frac{(a - a_0)\, s}{a^2}. \quad \text{(XVIII.7)}$$

Ținînd seamă că ancorajele pentru fasciculele curente au o secțiune circulară, cu diametrul d_a, dimensiunile $2a_0$ respectiv $2b_0$ ale suprafeței efective de încărcare A_l reprezintă în relațiile (XVIII.6), (XVIII.6 a) și (XVIII.7):

— pentru ancoraje rezemate direct pe beton,

$$2a_0 = 2b_0 \approx 0{,}9\, d_a;$$

— pentru ancoraje cu placă de repartiție, dimensiunile acestei plăci.

Numărul de bare n_1 și n_2 corespunde lungimilor $2a$ și $2b$ ale suprafeței de calcul A, care nu vor depăși valorile corespunzînd condițiilor

$$a - a_0 \leqslant 2b$$

$$b - b_0 \leqslant 2a. \quad \text{(XVIII.8)}$$

Pentru preluarea în condiții corespunzătoare a eforturilor transversale de întindere, diametrul fretei d_s trebuie să fie practic egal cu dimensiunea maximă a suprafeței de calcul.

4) Eforturile transversale de întindere între ancoraje trebuie preluate prin armăturile transversale dispuse în adîncime, în direcția corespunzătoare, pînă la distanța $\frac{h}{4}$ de la

Scanned with OKEN Scanner

suprafața de rezemare a ancorajului, unde h reprezintă dimensiunea elementului pe direcția considerată.

a) Verificarea acestor armături, avînd aria secțiunii transversale, pe lățimea corespunzătoare suprafeței de calcul respective, egală cu A_{az}, se face cu relația

$$A_{az} R_{as} \geqslant Z \qquad \text{(XVIII.9)}$$

în care Z este forța totală de întindere, determinată în mod aproximativ din condițiile de echilibru al forțelor în zona de ancorare (fig. XVIII.5).

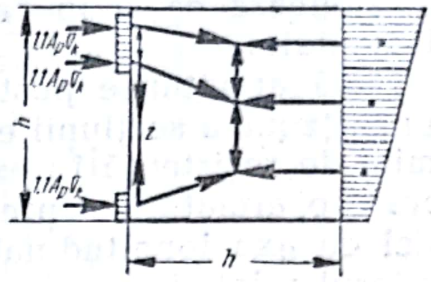


Fig. XVIII.5.

La dimensionarea plaselor de armătură trebuie ținut seamă de ordinea de pretensionare a armăturilor, efectuînd calculul pentru toate etapele intermediare de precomprimare.

Forța Z se poate determina și prin metodele teoriei elasticității.

b) Dacă armăturile pretensionate sînt concentrate la o margine a zonei de ancorare (fig. XVIII.6), relația (XVIII.9) devine

$$A_{az} R_{as} \geqslant \frac{1{,}1 A_p \sigma_k}{3} \cdot \frac{h - 2a_0}{h}. \qquad \text{(XVIII.10)}$$

c) Dacă armăturile pretensionate sînt astfel repartizate la capătul elementului încît centrul de greutate al fiecărui an-

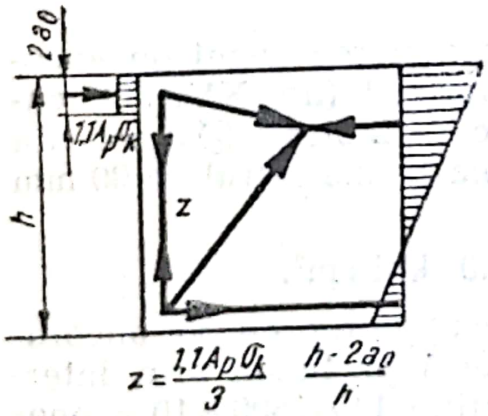


Fig. XVIII.6.

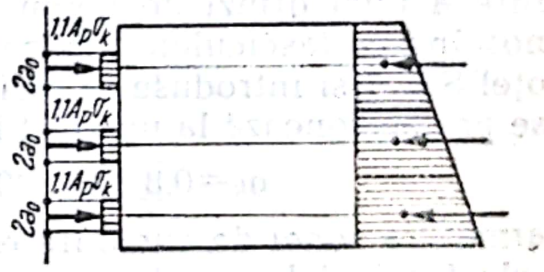


Fig. XVIII.7.

coraj se află la nivelul centrului de greutate al porțiunii aferente din diagrama eforturilor unitare, în secțiunea de la sfîrșitul zonei de ancorare (fig. XVIII.7) și în cazul pretensio-

nării simultane a tuturor acestor fascicule, armătura transversală între ancoraje se dispune constructiv.

5) Dacă armăturile postîntinse sînt ancorate în deschidere sau dacă ancorajele sînt înglobate în beton, plasele de armătură din zona de ancorare situate în fața ancorajului se dimensionează ca și în cazul ancorajelor aplicate la capetele elementului.

Dacă armăturile postîntinse sînt ancorate în deschidere, în acea zonă a secțiunii elementului care este întinsă în starea limită de rezistență în exploatare, se prevede în zona de ancorare o armătură nepretensionată suplimentară, dispusă paralel cu axa longitudinală a elementului și dimensionată cu ajutorul relației

$$A_a R_a \geqslant \frac{1{,}1\, A_p \sigma_k}{4}. \qquad \text{(XVIII.11)}$$

Această armătură se dispune pe întreaga lungime a zonei de ancorare, în fața și în spatele ancorajului.

6) Prevederile acestui capitol se aplică și pentru calculul zonelor de rezemare sau de aplicare a unor forțe concentrate la elemente de beton armat și de beton precomprimat. În acest caz, în relațiile de calcul încărcările sau reacțiunile se introduc cu valorile de calcul.

Dacă nu se prevede o armătură specială în aceste zone, calculul la compresiune locală se efectuează ca pentru elemente de beton simplu, în conformitate cu prevederile cap. III, 4.

2. Exemplu de calcul

Exemplul XVIII.1. Să se verifice armarea zonei de ancorare a unei grinzi de beton precomprimat (fig. XVIII.8), cunoscînd că fasciculele realizate din cîte 12 sîrme ∅ 5 mm din oțel SBP I și introduse în teci de tablă cu diametrul de 30 mm se pretensionează la un efort inițial

$$\sigma_k = 0{,}8 \times 16\,500 = 13\,200 \ \text{kgf/cm}^2;$$

armătura zonei de ancorare este executată din OL 38; ancorajele fasciculelor pretensionate reazemă pe beton prin intermediul unor plăci metalice de repartiție 140×500×10 acoperind fiecare cîte o porțiune înclinată a feței de capăt a grinzii; precomprimarea se efectuează cînd rezistența betonului B 400 este egală cu marca.

Verificarea la compresiune locală. Din analiza poziției ancorajelor rezultă că această verificare trebuie efectuată în

Scanned with OKEN Scanner

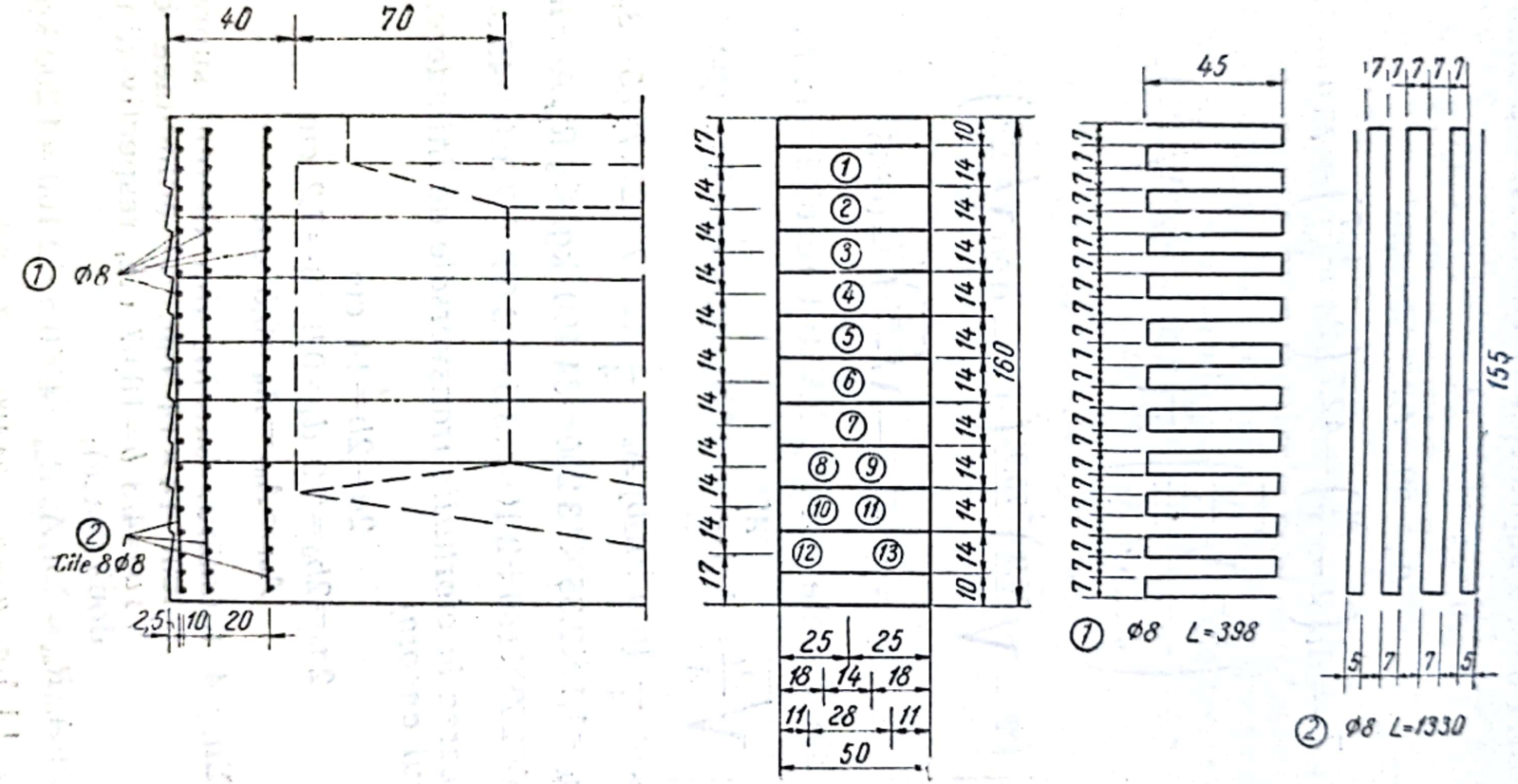

40
70
① Ø8
② Cile 8Ø8
2,5
10
20
17
14
10
160
25
25
18
14
18
11
28
11
50
45
7
① Ø8 L=398
155
5
7
7
5
② Ø8 L=1330

Fig. XVIII.8.

dreptul ancorajelor fasciculelor *8—9* sau *10—11*, unde aria netă a suprafeței de rezemare a plăcii de repartiție pe beton, egală cu aria netă a suprafeței de calcul A, este minimă

$$A_l = A = 14 \times 14 - 7 = 189 \text{ cm}^2$$

$$A'_l = 50 - 7{,}3 = 42{,}7 \text{ cm}^2$$

$$\bar{A}_l = A'_l \left(2 - \frac{A'_l}{A}\right) = 42{,}7 \left(2 - \frac{42{,}7}{189}\right) = 75{,}9 \text{ cm}^2$$

$$r = \left(\frac{2 - \sqrt{\frac{\bar{A}_l}{A}}}{2 - \sqrt{\frac{A_l}{A}}}\right)^2 \frac{\bar{A}_l}{A_l}\left(1{,}20 - 0{,}20\sqrt{\frac{\bar{A}_l}{A_l}}\right) =$$

$$= \left(2 - \sqrt{\frac{75{,}9}{189}}\right)^2 \frac{75{,}9}{189}\left(1{,}20 - 0{,}20\sqrt{\frac{75{,}9}{189}}\right) = 0{,}805$$

$$\xi = 0{,}805\left(2 - \sqrt{\frac{A_l}{A}}\right)^2 = 0\,805$$

Utilizînd diagramele din fig. XVIII.1 rezultă pentru

$$\sqrt{\frac{A_l}{A}} = 1 \text{ și } \frac{A'_l}{A} = 0{,}226 \text{ valoarea } \xi \approx 0{,}80$$

$$A_{as} \approx \frac{1}{4}(n_1 a + n_2 b) A_a = \frac{1}{4}(2 \times 7 + 2 \times 7) 0{,}5 = 3{,}5 \text{ cm}^2$$

$$m_0 A_p \sigma_k = 1{,}1 \times 2{,}35 \times 13\,200 = 34\,100 \text{ kgf} < \xi R^i_{pr} A_l + R_a A_{as} =$$

$$= 0{,}805 \times 250 \times 189 + 2\,100 \times 3{,}5 = 38\,000 + 7\,350 = 45\,350 \text{ kgf}.$$

Verificarea la eforturile transversale de întindere, în dreptul fiecărui ancoraj

$$2a = 2b = 14 \text{ cm}$$

$$2a_0 = 2b_0 = 0{,}9 \; d_a = 0{,}9 \times 8 = 7{,}2 \text{ cm}$$

$$A_{a1} = A_{a2} = A_a = 0{,}5 \text{ cm}^2$$

$\Sigma n_1 = \Sigma n_2 = 4$ (numărul barelor din dreptul suprafeței de calcul 14×14 cm, pe adîncimea egală cu $4/3\, a = 4/3\, b = 18{,}67$ cm, respectiv din primele două plase);

$$\Sigma n_1 A_{a1} R_{as} = \Sigma n_2 A_{a2} R_{as} = 4 \times 0{,}5 \times 2\,100 = 4\,200 \text{ kgf} >$$

$$> \frac{1{,}1\, A_p \sigma_k}{4} \frac{a - a_0}{a} = \frac{34\,100}{4} \times \frac{7 - 3{,}6}{7} = 4\,140 \text{ kgf},$$

Scanned with OKEN Scanner

Verificarea la eforturile transversale de întindere, între ancoraje. Cazul cel mai defavorabil este cazul în care precomprimarea se începe prin pretensionarea fasciculelor *12—13*.

În acest caz, verificarea se face în mod aproximativ, acoperitor, cu relația

$$n_3 A_a R_{as} \geqslant \frac{1{,}1\, A_p \sigma_k}{3} \cdot \frac{h - 2a_0}{h}$$

în care n_3, numărul de bare care se consideră în calcul, este egal cu numărul de bare verticale care se găsesc pe lățimea suprafeței de calcul, pe adîncimea $h/4 = 160/4 = 40$ cm a zonei de ancorare, respectiv barele din toate cele trei plase.

Suprafața de calcul pentru ambele fascicule *12—13* are lățimea egală cu lățimea grinzii, deci

$$n_3 = 3 \times 8 = 24\ (\varnothing\ 8\ \text{mm}).$$

Presupunînd, în mod acoperitor, că cele două fascicule se află chiar la marginea secțiunii

$$24 \times 0{,}5 \times 2\,100 = 25\,200\ \text{kgf} > \frac{2 \times 34\,120}{3} \times \frac{160 - 14}{160} = 20\,750\ \text{kgf}.$$

Relația fiind verificată pentru acest caz cel mai defavorabil, rezultă că ea va fi verificată pentru orice ordine de pretensionare a fasciculelor.

Scanned with OKEN Scanner

Suprafața secțiunii transversale și greutatea armăturilor

Tipul armăturii			Diametrul	Suprafața secțiunii transversale pentru *n* bare, în cm²										Greutatea	Diametrul
Sîrmă trasă mată	TOR 47, TOR 57	OL 38 PC 52 PC 60	mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	kg/m	mm
3			3	0,071	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,57	0,64	0,71	0,055	3
3,5 (3,55)			3,5	0,096	0,19	0,29	0,38	0,48	0,58	0,67	0,77	0,86	0,96	0,075	3,5
4			4	0,126	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	1,26	0,098	4
4,5			4,5	0,159	0,32	0,48	0,64	0 80	0,95	1,11	1,27	1,43	1,59	0,125	4,5
5			5	0,196	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1.37	1,57	1,77	1,96	0,154	5
5,5 (5,6)			5,5	0,238	0,48	0,71	0,95	1,19	1,43	1,66	1,90	2,14	2,38	0,188	5,5
6	6	6	6	0,283	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	2 83	0 222	6
7 (7,1)	7	7	7	0,385	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85	0,302	7
8	8	8	8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3.52	4,02	4,53	5,03	0,395	8
10	10	10	10	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6.28	7,07	7,85	0,617	10
	12	12	12	1,131	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31	0,888	12
	14	14	14	1,539	3,08	4,62	6,16	7,69	9,23	10,77	12,31	13,85	15,39	1,208	14
	16	16	16	2,011	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11	1,578	16
	18	18	18	2,545	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22 90	25,45	1,998	18
	20	20	20	3,141	6,28	9,42	12,56	15,71	18,85	21,99	25,14	28,28	31,41	2,466	20
		22	22	3,801	7,60	11,40	15,20	19,00	22,81	26,61	30,41	34 21	38,01	2,984	22
		25	25	4,909	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09	3,853	25
		28	28	6,158	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,58	4,834	28
		32	32	8,042	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42	6,313	32
		36	36	10,18	20 36	30,54	40,72	50,90	61,08	71,26	81,44	91,62	101,80	7,990	36
		40	40	12,56	25,12	37,68	50,24	62,80	75,36	87,92	100,48	113,04	125,60	9,870	40

Scanned with OKEN Scanner

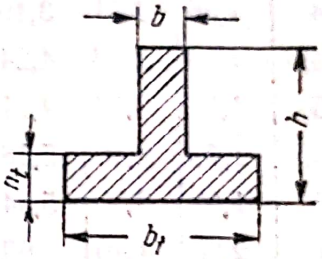
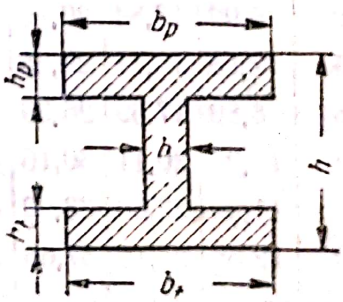
ANEXA II

Perimetrul armăturilor

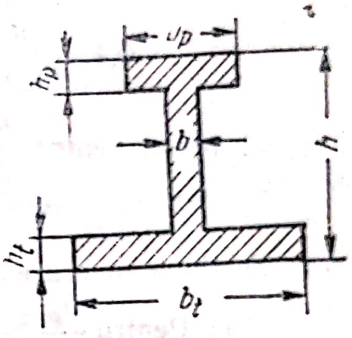
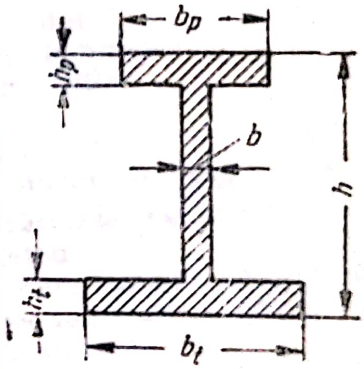
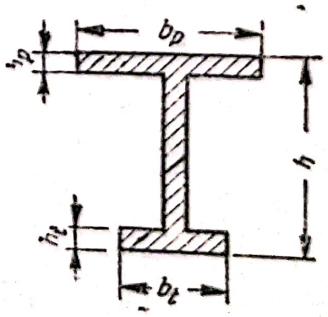
Diametrul mm	Perimetrul secțiunii pentru *n* bare, în cm										Diametrul mm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
3	0,94	1,88	2,83	3,77	4,71	5,65	6,28	7,54	8,48	9,42	3
3,5	1,09	2,20	3,30	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	9,90	11,00	3,5
4	1,26	2,51	3,46	5,03	6,28	7,54	8,80	10,05	11,31	12,57	4
4,5	1,41	2,83	4,24	5,65	7,07	8,48	9,90	11,31	12,72	14,14	4,5
5	1,57	3,14	4,71	6,28	7,85	9,42	11,00	12,57	14 14	15,71	5
5,5	1,73	3,46	5,18	6,91	8.64	10,37	12,09	13,82	15,55	17,28	5,5
6	1,88	3,76	5,64	7,52	9,40	11,28	13,16	15,04	16,92	18,80	6
7	2,20	4,40	6,60	8,80	11,00	13,20	15,39	17,59	19,79	21,99	7
8	2,51	5,02	7,53	10,04	12,55	15,06	17,57	20,08	22,59	25,10	8
10	3,14	6,28	9,42	12,56	15,70	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40	10
12	3,77	7,54	11,31	15,08	18,85	22,62	26,39	30,16	33,93	37,70	12
14	4,40	8,80	13,20	17,60	22,00	26,40	30,80	35,20	39,60	44,00	14
16	5,02	10,04	15,06	20,08	25,10	30,12	35,14	40,16	45,18	50,20	16
18	5,65	11,30	16,95	22,60	28,25	33,90	39,55	45,20	50,85	56,50	18
20	6,28	12,56	18,84	25,12	31 40	37,68	43,96	50,24	56,52	62,80	20
22	6,92	13,84	20,76	27,68	34,60	41,52	48,44	55,36	62,28	69,20	22
25	7,85	15,71	23,56	31,42	39,27	47,12	54,98	62,83	70,69	78,54	25
28	8,80	17,59	26,39	35,19	43,98	52,78	61,58	70,37	79,17	87,96	28
32	10,05	20,11	30,16	40,21	50,27	60,32	70,37	80,43	90,48	100,53	32
36	11,30	22,60	33,90	45,20	56,50	67,80	79,10	90,40	101,70	113,00	36
40	12,55	25,10	37,65	50,20	62,75	75,30	87,85	100,40	112,95	125,50	40

Scanned with OKEN Scanner

Valorile coeficientului $\gamma = \frac{W_f}{W_0}$

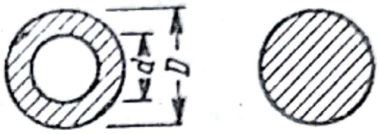
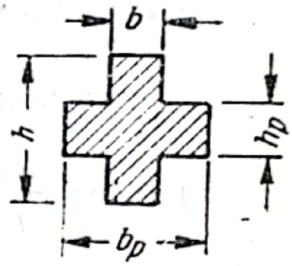
Nr. crt.	Caracteristicile secțiunii	$\gamma = \frac{W_f}{W_0}$	Forma secțiunii
1	Secțiune dreptunghiulară	1,75	
2	Secțiune T cu talpa în zona comprimată	1,75	
3	Secțiune T cu talpa în zona întinsă:		
	a) Pentru $\frac{b_t}{b} \leqslant 2$ independent de raportul $\frac{h_t}{h}$	1,75	
	b) Pentru $\frac{b_t}{b} > 2$ și $\frac{h_t}{h} \geqslant 0{,}2$	1,75	
	c) Pentru $\frac{b_t}{b} > 2$ și $\frac{h_t}{h} < 0{,}2$	1,50	
4	Secțiune I simetrică sau casetată:		
	a) Pentru $\frac{b_p}{b} = \frac{b_t}{b} \leqslant 2$ independent de raportul $\frac{h_p}{h} = \frac{h_t}{h}$	1,75	
	b) Pentru $2 < \frac{b_p}{b} = \frac{b_t}{b} \leqslant 6$ independent de raportul $\frac{h_p}{h} = \frac{h_t}{h}$	1,50	
	c) Pentru $\frac{b_p}{b} = \frac{b_t}{b} > 6$ și $\frac{h_p}{h} = \frac{h_t}{h} \geqslant 0{,}2$	1,50	$b_p = b_t$ $h_p = h_t$
	d) Pentru $6 < \frac{b_p}{b} = \frac{b_t}{b} \leqslant 15$ și $\frac{h_p}{h} = \frac{h_t}{h} < 0{,}2$	1,25	
	e) Pentru $\frac{b_p}{b} = \frac{b_t}{b} > 15$ și $\frac{h_p}{h} = \frac{h_t}{h} < 0{,}1$	1,10	

Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Caracteristicile secțiunii	$\gamma = \frac{W_f}{W_0}$	Forma secțiunii
5	Secțiune I nesimetrică îndeplinind condiția $\frac{b_p}{b} \leqslant 3$:		
	a) Pentru $\frac{b_t}{b} \leqslant 2$ independent de raportul $\frac{h_t}{h}$	1,75	
	b) Pentru $2 < \frac{b_t}{b} \leqslant 6$ independent de raportul $\frac{h_t}{h}$	1,50	
	c) Pentru $\frac{b_t}{b} > 6$ și $\frac{h_t}{h} > 0,1$	1,50	
6	Secțiune I nesimetrică îndeplinind condiția $3 < \frac{b_p}{b} < 8$:		
	a) Pentru $\frac{b_t}{b} \leqslant 4$ independent de raportul $\frac{h_t}{h}$	1,50	
	b) Pentru $\frac{b_t}{b} > 4$ și $\frac{h_t}{h} \geqslant 0,2$	1,50	
	c) Pentru $\frac{b_t}{b} > 4$ și $\frac{h_t}{h} < 0,2$	1,25	
7	Secțiune I nesimetrică îndeplinind condiția $\frac{b_p}{b} \geqslant 8$:		
	a) Pentru $\frac{h_t}{h} > 0,3$	1,50	
	b) Pentru $\frac{h_t}{h} \leqslant 0,3$	1,25	

Scanned with OKEN Scanner

ANEXA III (continuare)

Nr. crt.	Caracteristicile secțiunii	$\gamma = \frac{W_I}{W_0}$	Forma secțiunii
8	a) Secțiune circulară și inelară pentru $\frac{d}{D} \leqslant 0,4$	1,90	
	b) Secțiune inelară pentru $0,4 < \frac{d}{D} \leqslant 0,8$	1,75	
	c) Idem, pentru $\frac{d}{D} > 0,5$	1,60	
9	Secțiune în cruce: a) Pentru $\frac{b_p}{b} \geqslant 2$ și $0,9 \geqslant \frac{h_p}{h} > 0,2$	2,00	
	b) În celelalte cazuri	1,75	

Scanned with OKEN Scanner

TABLA DE MATERII

Prefață 3

I. **Noțiuni fundamentale pentru calculul construcțiilor de beton armat** 5

1. Principii generale de calcul 5
2. Caracteristici de calcul ale materialelor 8
   a. Mărci de betoane utilizate 8
   b. Caracteristici de calcul ale betonului 8
   c. Armături pentru elemente de beton armat 10

II. **Indicații constructive pentru elementele de beton și beton armat** 12

1. Indicații generale privind armăturile 12
   a. Armături constructive în elementele de beton 12
   b. Procente minime de armare 12
   c. Diametre minime ale armăturilor 13
   d. Prescripții pentru armăturile înclinate 14
   e. Înnădirea fără sudură a armăturilor 15
   f. Sudarea armăturilor 16
   g. Piese metalice pentru îmbinări 16
   h. Condiții pentru asigurarea ancorării armăturilor . . . 18
2. Indicații generale privind alcătuirea secțiunilor 19
   a. Stratul de acoperire din beton 19
   b. Distanța dintre armăturile longitudinale de rezistență . 20
   c. Dimensiunile minime ale secțiunii elementelor 21
   d. Indicații privind alcătuirea stîlpilor 22
   e. Indicații pentru elementele încovoiate 23
   f. Indicații constructive pentru elementele supuse altor solicitări 25
   g. Armarea colțurilor de cadre 25

III. **Elemente de beton simplu** 28

1. Compresiune centrică 28
   a. Relații de calcul 28
   b. Exemplu de calcul 29
2. Încovoiere 29
   a. Relații de calcul 29
   b. Exemple de calcul 30
3. Compresiune excentrică 32
   a. Relații de calcul 32
   b. Exemple de calcul 34
4. Compresiune locală 40
   a. Relații de calcul 40
   b. Exemplu de calcul 41

Scanned with OKEN Scanner

IV. **Elemente de beton armat comprimate centric** 42

1. Stîlpi cu armături longitudinale și etrieri 42
   a. Relații de calcul 42
   b. Exemple de calcul 49
2. Stîlpi fretați 51
   a. Relații de calcul 51
   b. Exemplu de calcul 52

V. **Elemente de beton armat întinse centric** 55

   a. Calculul capacității portante 55
   b. Calculul la apariția și deschiderea fisurilor 56
   c. Exemple de calcul 57

VI. **Elemente de beton armat încovoiate** 60

A. *Calculul în secțiuni normale pe axa elementului* 60

1. Calculul secțiunilor simetrice de orice formă 60
   a. Secțiuni simplu armate 60
   b. Secțiuni dublu armate 62
   c. Secțiuni de orice formă supuse încovoierii oblice . . 63
2. Calculul secțiunilor dreptunghiulare, simplu armate . . . 65
   a. Relații de calcul 65
   b. Modul practic de calcul 83
   c. Exemple de calcul 90
3. Calculul secțiunilor dreptunghiulare, dublu armate . . . 96
   a. Relații de calcul 96
   b. Modul practic de calcul 98
   c. Exemple de calcul 101
4. Calculul secțiunilor T, I sau casetate 104
   a. Relații de calcul 104
   b. Modul practic de calcul 115
   c. Exemple de calcul 120
5. Calculul secțiunilor circulare tubulare 133
   a. Relații de calcul 133
   b. Exemple de calcul 138
6. Calculul secțiunilor supuse la încovoiere oblică 140
   a. Relații de calcul 140
   b. Exemple de calcul 143

B. *Calculul în secțiuni înclinate* 147

1. Calculul armăturilor transversale 147
   a. Relații fundamentale de calcul 147
   b. Calculul etrierilor sau armăturilor transversale sudate . 149
   c. Dimensionarea armăturii transversale formată din bare înclinate și etrieri 153
   d. Verificarea capacității portante a elementelor încovoiate la acțiunea forțelor tăietoare 157
   e. Exemple pentru dimensionarea armăturilor transversale . 160
2. Verificarea capacității portante în secțiuni înclinate la acțiunea momentelor încovoietoare 166
   a. Relații de calcul 166
   b. Exemple de calcul 170

Scanned with OKEN Scanner

3. Acțiunea forțelor concentrate 176
a. Relații de calcul 176
b. Exemple de calcul 181
4. Calculul la străpungere 184
a. Relații de calcul 184
b. Exemple de calcul 185

C. *Calculul deformațiilor și fisurării elementelor încovoiate* 187

1. Calculul eforturilor unitare în secțiuni fisurate 187
2. Calculul deformațiilor 190
a. Relații de calcul 190
b. Exemple de calcul 200
3. Calculul fisurării elementelor încovoiate 212
a. Relații de calcul 212
b. Exemple de calcul pentru deschiderea fisurilor 216

VII. **Elemente de beton armat comprimate excentric** 218

1. Relații generale privind calculul la starea limită de rezistență 218
2. Calculul secțiunilor dreptunghiulare 223
a. Relații de calcul 223
b. Modul practic de calcul 226
c. Exemple de calcul 230
3. Calculul secțiunilor T, I sau casetate 236
a. Relații de calcul 236
b. Modul practic de calcul 237
c. Exemple de calcul 241
4. Calculul secțiunilor circulare tubulare 245
a. Relații de calcul 245
b. Exemple de calcul 248
5. Compresiune excentrică oblică 250
a. Relații de calcul 250
b. Exemplu de calcul 251
6. Calculul la fisurare și deformație 253
a. Relații de calcul 253
b. Exemple de calcul 254

VIII. **Elemente de beton armat întinse excentric** 257

1. Relații de calcul 257
a. Starea limită de rezistență în secțiuni normale . . . 257
b. Folosirea tabelelor pentru calculul la starea limită de rezistență în secțiuni normale 260
c. Calculul deschiderii fisurilor și rigidității 263
2. Exemple de calcul 264

IX. **Elemente de beton armat solicitate la torsiune** 268

1. Relații de calcul și indicații constructive 268
2. Exemplu de calcul 270

X. **Elemente de beton armat solicitate la încărcări repetate** . . . 273

1. Caracteristici de calcul 274
2. Verificarea secțiunilor la întindere și compresiune centrică . 276

Scanned with OKEN Scanner

30

a. Relaţii de calcul 276
b. Exemple de calcul 277
3. Verificarea la oboseală a secţiunilor încovoiate 278
a. Relaţii de calcul 278
b. Exemple de calcul 283
4. Verificarea la oboseală a secţiunilor comprimate excentric 286

XI. **Noţiuni generale pentru calculul elementelor de beton precomprimat** 288

1. Definiţia principalelor noţiuni utilizate în calculul elementelor de beton precomprimat 288
2. Principalele etape în calculul elementelor de beton precomprimat 296
3. Materiale pentru elementele de beton precomprimat . . . 297
a. Beton pentru elemente de beton precomprimat . . . 297
b. Armături pentru elemente de beton precomprimat . . 299

XII. **Prescripţii constructive pentru elemente de beton precomprimat** 303

1. Secţiunea de beton a elementului 303
2. Elemente cu armătură preîntinsă 305
3. Elemente cu armătură postîntinsă 308
4. Prescripţii generale 312

XIII. **Calculul eforturilor unitare din beton şi armătură** 313

A. *Stabilirea caracteristicilor geometrice ale secţiunii ideale* . 313

1. Principii generale 313
2. Relaţii de calcul 314
3. Exemple de calcul 318

B. *Condiţii generale pentru stabilirea efortului unitar de calcul în faza iniţială* 324

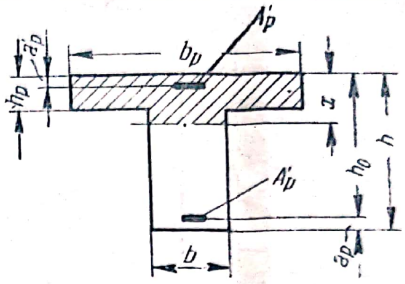
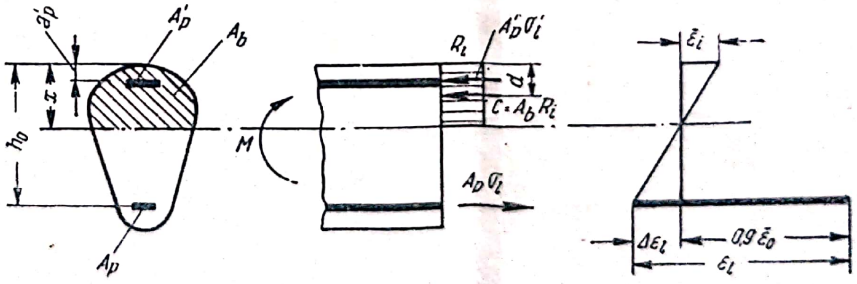
C. *Stabilirea efortului unitar de control şi a efortului unitar de calcul în faza iniţială pentru armături preîntinse* 325

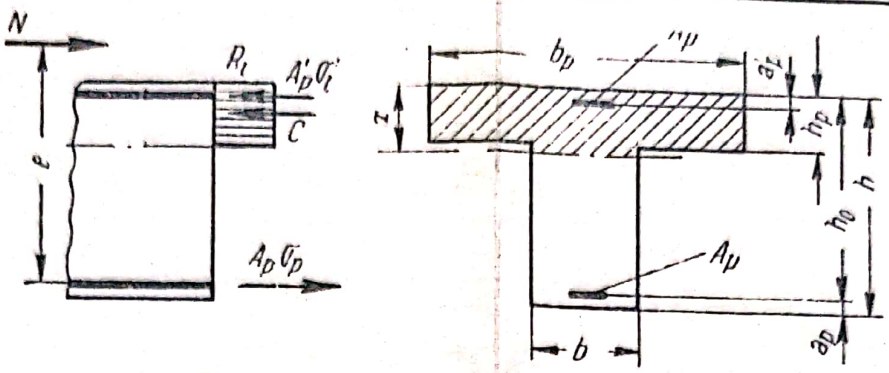
1. Relaţii generale de calcul 325
2. Pierderea de tensiune datorită lunecărilor şi deformaţiilor locale în ancoraje la blocarea armăturii după pretensionare 325
3. Pierderea de tensiune $\Delta\sigma_t$ datorită efectului tratamentului termic al betonului 326
4. Calculul eforturilor unitare din beton şi armătură în faza iniţială 326
5. Exemplu de calcul 327

D. *Stabilirea efortului unitar de control şi a efortului unitar de calcul în faza iniţială pentru armături postîntinse* 328

1. Relaţii generale de calcul 328
2. Efectul întinderii succesive a armăturilor postîntinse . . . 329
3. Pierderile de tensiune $\Delta\sigma_f$ şi $\Delta\sigma_\lambda$ datorită frecărilor pe traseu precum şi lunecărilor şi deformaţiilor locale în ancoraje la blocare 330

Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Caracteristicile secțiunii / Solicitarea		Încovoiere
4	Secțiune cu placă în zona comprimată, dublu armată	II. Axa neutră cade în inima grinzii	 a) Date: secțiunea de beton și A_p $M \leqslant 0{,}8\left\{\left[bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)\right]R_i+A'_p\sigma'_l\,(h_0-a'_p)\right\}$ $x=\frac{A_p\sigma_l-A'_p\sigma'_l-0{,}8\,(b_p-b)\,h_pR_i}{bR_i}$; $\quad\sigma_l=m_pR_p$ $m_p=\frac{1-k\alpha_p}{2}+\sqrt{\left(\frac{1-k\alpha_p}{2}\right)^2+k\left[0{,}8\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\frac{h_p}{h_0}+\alpha'_p\right]}$ b) Date: secțiunea de beton și M $A_p=\alpha_{1p}bh_0\frac{R_i}{R_p}+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\frac{R_i}{m_pR_p}+A'_p\frac{\sigma'_l}{m_pR_p}$ $\alpha_{1p}=f\,(B_1)$ $B_1=\frac{1}{bh_0^2R_i}\left[\frac{M}{0{,}8}-0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)R_i-A'_p\sigma'_l\,(h_0-a'_p)\right]$ $m_p=1-k\alpha_{1p}$
5	Secțiune de formă oarecare dublu armată		 $M\leqslant 0{,}8\,[A_bR_i\,(h_0-d)+A'_p\sigma'_l\,(h_0-a'_p)]$ Înălțimea zonei comprimate x rezultă din relația $A_bRi=A_p\sigma_l-A'_p\sigma'_l;\qquad\sigma_l=f(\varepsilon_l)$ $\varepsilon_l=0{,}9\bar{\varepsilon}_0+\frac{h_0-x}{x}\bar{\varepsilon}_i$ Valoarea corectă x se determină prin încercări succesive



a) Date: secțiunea de beton, A_p și e

$$Ne \leqslant 0{,}8\left\{\left[bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)\right]R_i+A'_p\sigma'_l(h_0-a'_p)\right\}$$

$$x=\frac{A_p\sigma_l-A'_p\sigma'_l-0{,}8\,(b_p-b)\,h_pR_i+N}{bR_i};\qquad \sigma_l=m_pR_p$$

$$m_p=\frac{1-k\alpha_p}{2}+\sqrt{\left(\frac{1-k\alpha_p}{2}\right)^2+k\left[0{,}8\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\frac{h_p}{h_p}+\alpha'_p-\frac{N}{bh_0R_i}\right]}$$

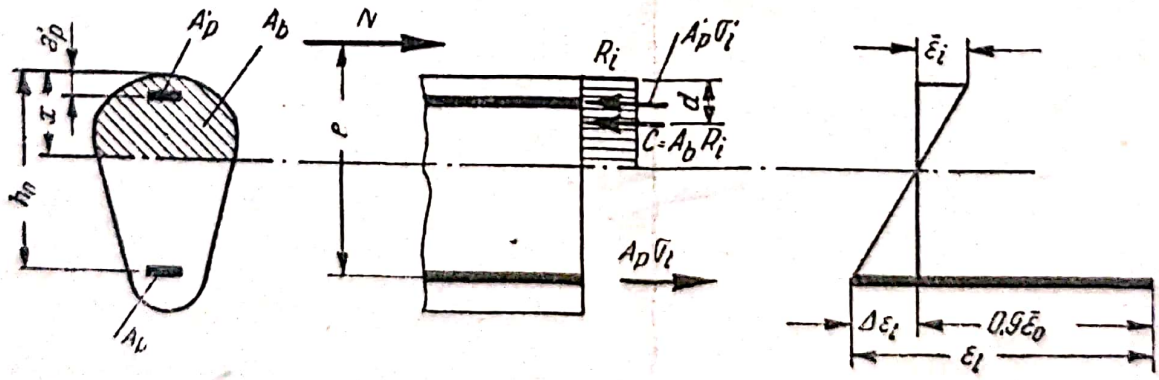
b) Date: secțiunea de beton, N și e

$$A_p=\alpha_{1p}bh_0\frac{R_i}{R_p}+\;0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\,\frac{R_i}{m_pR_p}+A'_p\,\frac{\sigma'_l}{m_pR_p}-\frac{N}{m_pR_p}$$

$$\alpha_{1p}=f\,(B_1)$$

$$B_1=\frac{1}{bh_0^2R_i}\left[\frac{Ne}{0{,}8}-0{,}8\,(b_p-b)h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)R_i-A'_p\sigma'_l(h_0-a'_p)\right]$$

$$m_p=1-kx_{1p}$$



$$Ne \leqslant 0{,}8\,[A_bR_i\,(h_0-d)+A'_p\sigma'_l(h_0-a'_p)]$$

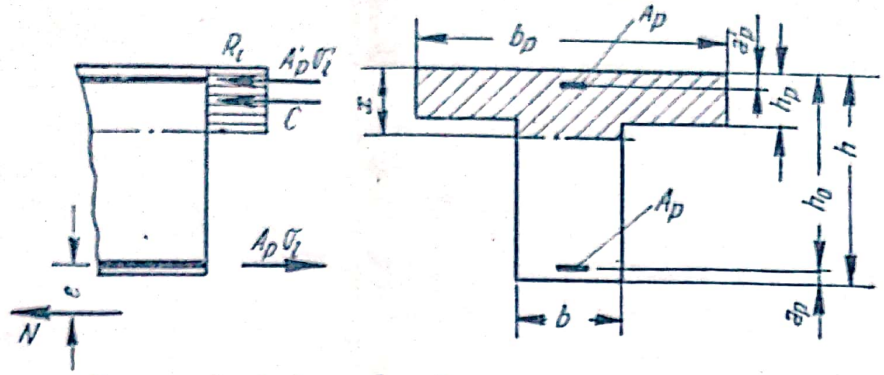
Înălțimea zonei comprimate x rezultă din relația

$$A_bR_i=A_p\sigma_l-A'_p\sigma'_l+N;\qquad \sigma_l=f\,(\varepsilon_l)$$

$$\varepsilon_l=0{,}9\,\bar{\varepsilon}_0+\frac{h_0-x}{x}\,\bar{\varepsilon}_i$$

Valoarea corectă x se determină prin încercări succesive

Întindere excentrică cu excentricitate mare



a) Date: secțiunea de beton, A_p și e

$$Ne \leqslant 0{,}8\left\{\left[bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)\right]R_i+A'_p\sigma'_i\,(h_0-a'_p)\right\}$$

$$x=\frac{A_p\sigma_i-A'_p\sigma'_i\,0{,}8\,(b_p-b)\,h_pR_i-N}{bR_i}\;;\qquad \sigma_i=m_pR_p$$

$$m_p=\frac{1-k\alpha_p}{2}+\sqrt{\left(\frac{1-k\alpha_p}{2}\right)^2+k\left[0{,}8\left(\frac{b_p}{b}-1\right)\frac{h_p}{h_0}+\alpha'_p+\frac{N}{bh_0R_i}\right]}$$

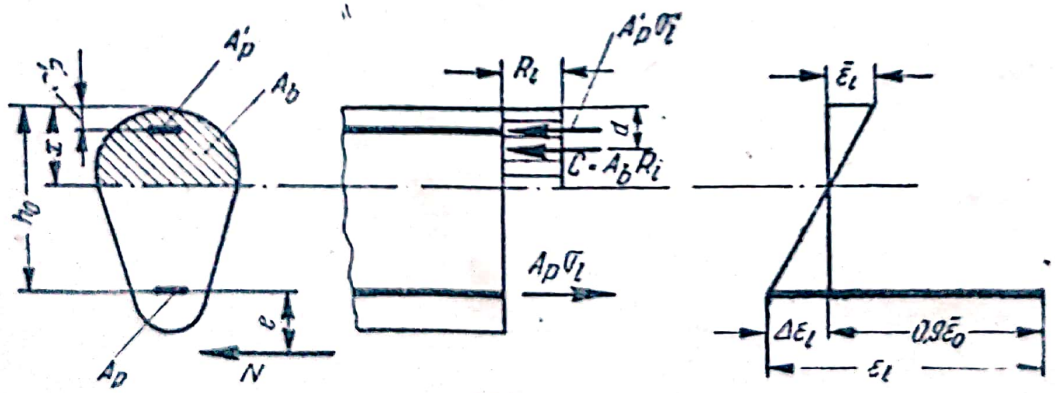
b) Date: secțiunea de beton, N și e

$$A_p=\alpha_{1p}bh_0\frac{R_i}{R_p}+0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\frac{R_i}{m_pR_p}+A'_p\frac{\sigma'_i}{m_pR_p}+\frac{N}{m_pR_p}$$

$$\alpha_{1p}=f\,(B_1)$$

$$B_1=\frac{1}{bh_0^2R_i}\left[\frac{Ne}{0{,}8}-0{,}8\,(b_p-b)\,h_p\left(h_0-\frac{h_p}{2}\right)R_i-A'_p\sigma'_i\,(h_0-a'_p)\right]$$

$$m_p=1-k\alpha_{1p}$$



$$Ne \leqslant 0{,}8\,[A_pR_i\,(h_0-d)+A'_p\sigma'_i\,(h_0-a'_p)]$$

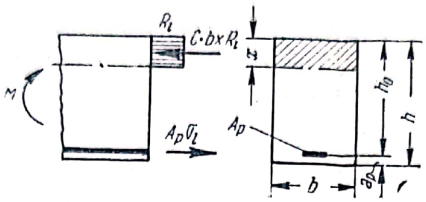
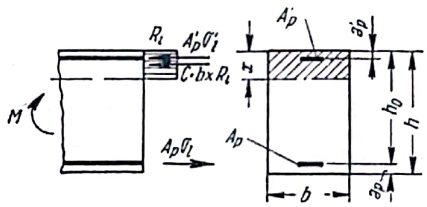
Înălțimea zonei comprimate x rezultă din relația

$$A_bR_i=A_p\sigma_i-A'_p\sigma'_i-N\;;\;\sigma_i=f\,(\varepsilon_i)\;;$$

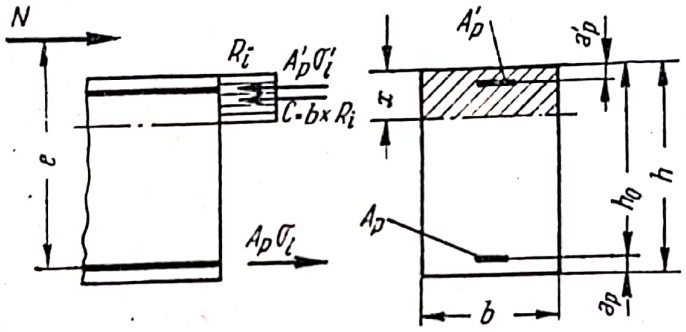
$$\varepsilon_i=0{,}9\,\bar{\varepsilon}_0+\frac{h_0-x}{x}\bar{\varepsilon}_i$$

Valoarea corectă x se determină prin încercări succesive

Relații de calcul la starea limită de rezistență în secțiuni normale pe axa elementului pentru elemente de beton

Nr. crt.	Caracteristicile secțiunii / Solicitarea	Încovoiere	
1	Secțiune dreptunghiulară simplu armată		a) Date: secțiunea de beton și A_p $M \leqslant 0{,}8\, bxR_i \left(h_0 - \frac{x}{2}\right)$ $x = \frac{A_p\sigma_l}{bR_i}$; $\sigma_l = m_pR_p$ $m_p = 1 - k\frac{A_pR_p}{bh_0R_i}$ b) Date: secțiunea de beton și M $A_p = \alpha_p bh_0 \frac{R_i}{R_p}$; $\alpha_p = f(B)$; $B = \frac{M}{0{,}8\, bh_0^2R_i}$
2	Secțiune dreptunghiulară dublu armată		a) Date: secțiunea de beton și A_p $M \leqslant 0{,}8\left[bxR_i\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + A'_p\sigma'_l(h_0 - a'_p)\right]$ $x = \frac{A_p\sigma_l - A'_p\sigma'_l}{bR_i}$; $\sigma_l = m_pR_p$ $m_p = \frac{1 - k\alpha'_p}{2} + \sqrt{\left(\frac{1 - k\alpha'_p}{2}\right)^2 + k\alpha_p}$ $\alpha_p = \frac{A_p}{bh_0}\frac{R_p}{Ri}$; $\alpha'_p = \frac{A_p\sigma'_l}{bh_0R_i}$ b) Date: secțiunea de beton și M $A_p = \alpha_{1p} bh_0 \frac{R_i}{R_p} + A'_p \frac{\sigma'_l}{m_pR_p}$; $\alpha_{1p} = f(B_1)$ $B_1 = \frac{1}{bh_0^2R_i}\left[\frac{M}{0{,}8} - A'_p\sigma'_l(h_0 - a'_p)\right]$; $m_p = 1 - k\alpha_{1p}$

Compresiune excentrică cu excentricitate mare



a) Date: secțiunea de beton, A_p și e

$$Ne \leqslant 0{,}8\left[bxR_i\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+A'_p\sigma'_l(h_0-a'_p)\right]$$

$$x=\frac{A_p\sigma_l-A'_p\sigma'_l+N}{bR_i};\qquad \sigma_l=m_pR_p$$

$$m_p=\frac{1-k\alpha_p}{2}+\sqrt{\left(\frac{1-k\alpha_p}{2}\right)^2+k\left(\alpha'_p-\frac{N}{bh_0R_i}\right)}$$

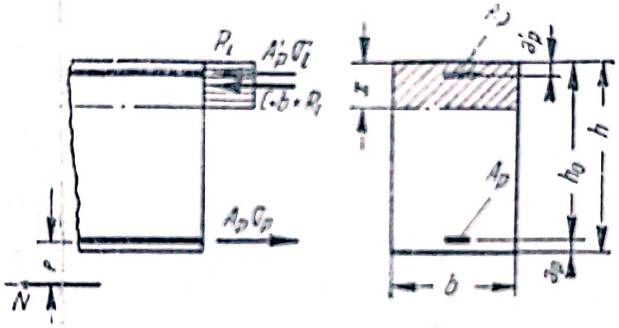
$$\alpha_p=\frac{A_p}{bh_0}\frac{R_p}{R_i};\qquad \alpha'_p=\frac{A_p\sigma_l}{bh_0R_i}$$

b) Date: secțiunea de beton, N și e

$$A_p=\alpha_{1p}bh_0\frac{R_l}{R_p}+A'_p\frac{\sigma'_l}{m_pR_p}-\frac{N}{m_pR_p};\qquad \alpha_{1p}=f(B_1)$$

$$B_1=\frac{1}{bh_0^2R_l}\left[\frac{Ne}{0{,}8}-A'_p\sigma'_l(h_0-a'_p)\right];\qquad m_p=1-k\alpha_{1p}$$

...entrică cu excentricitate mare, întindere excentrică cu excentricitate mare

	Întindere excentrică cu excentricitate mare
	

a) Date: secțiunea de beton, A_p și e

$$Ne \leqslant 0{,}8\left[bxR_i\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+A'_p\,\sigma'_l\,(h_0-a'_p)\right]$$

$$x=\frac{A_p\sigma_l-A'_p\sigma'_l-N}{bR_i};\qquad \sigma_l=m_pR_p$$

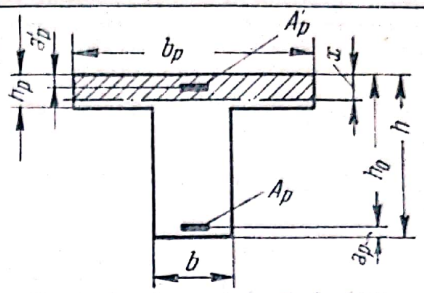
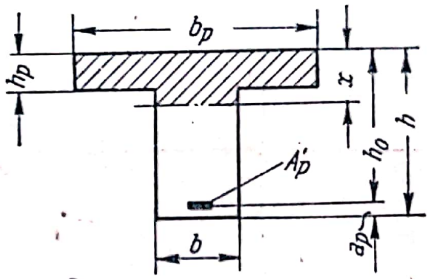
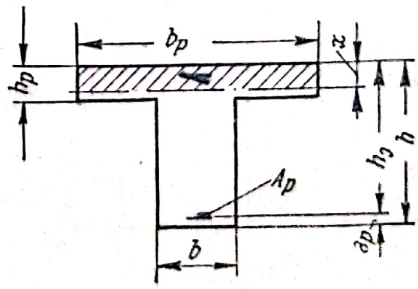
$$m_p=\frac{1-k\alpha_p}{2}+\sqrt{\left(\frac{1-k\alpha_p}{2}\right)^2+k\left(\alpha'_p+\frac{N}{bh_0R_i}\right)}$$

$$\alpha_p=\frac{A_p}{bh_0}\frac{R_p}{R_i};\qquad \alpha'_p=\frac{A_p\sigma'_l}{bh_0R_i}$$

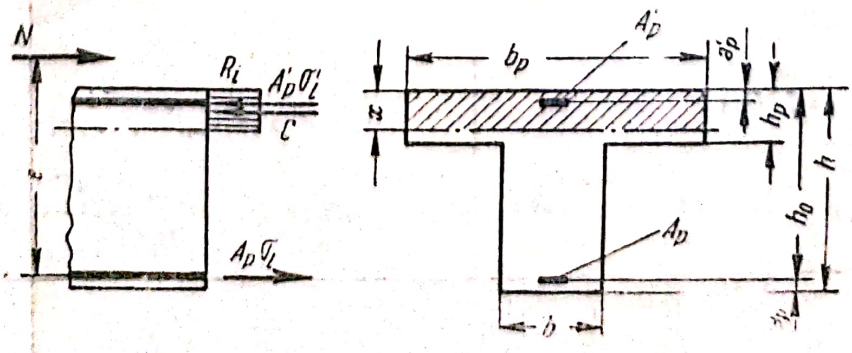
b) Date: secțiunea de beton, N și e

$$A_p=\alpha_{1p}bh_0\frac{R_i}{R_p}+A'_p\frac{\sigma'_l}{m_pR_p}+\frac{N}{m_pR_p};\qquad \alpha_{1p}=f(B_1)$$

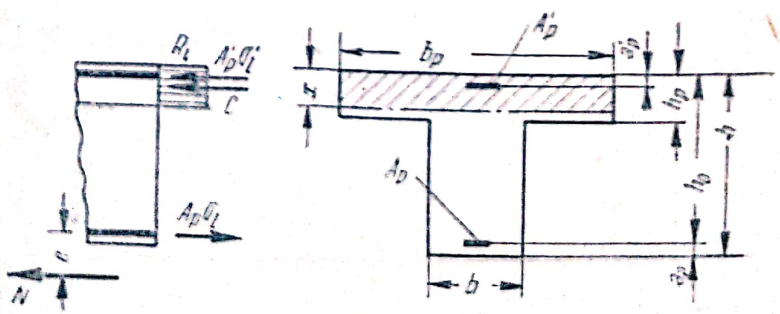
$$B_1=\frac{1}{bh_0^2R_i}\left[\frac{Ne}{0{,}8}-A'_p\sigma'_l(h_0-a'_p)\right];\qquad m_p=1-k\alpha_{1p}$$

Nr. crt.	Caracteristicile secțiunii / Solicitarea		Încovoiere
3	Secțiune cu placă în zona comprimată, simplu armată	I. Axa neutră cade în placă	 Se calculează ca o secțiune dreptunghiulară de lățime $b_d = b + 0{,}8(b_p - b)$
		II. Axa neutră cade în inima grinzii	 a) Date: secțiunea de beton și A_p $$M \leqslant 0{,}8\left[bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + 0{,}8\,(b_p - b)\,h_p\left(h_0 - \frac{h_p}{2}\right)\right]R_i$$ $$x = \frac{A_p\sigma_l - 0{,}8\,(b_p - b)\,h_p R_i}{bR_i}; \qquad \sigma_l = m_p R_p$$ $$m_p = \frac{1 - k\alpha_p}{2} + \sqrt{\left(\frac{1 - k\alpha_p}{2}\right)^2 + 0{,}8\,k\left(\frac{b_p}{b} - 1\right)\frac{h_p}{h_0}}$$ b) Date: secțiunea de beton și M $$A_p = \alpha_{1p} b h_0 \frac{R_i}{R_p} + 0{,}8\,(b_p - b)\,h_p \frac{R_i}{m_p R_p}; \qquad \alpha_{1p} = f(B_1)$$ $$B_1 = \frac{1}{bh_0^2 R_i}\left[\frac{M}{0{,}8} - 0{,}8\,(b_p - b)\,h_p\left(h_0 - \frac{h_p}{2}\right)R_i\right]; \qquad m_p = 1 - k\alpha_{1p}$$
4	Secțiune cu placă în zona comprimată, dublu armată	I. Axa neutră cade în placă	 Se calculează ca o secțiune dreptunghiulară de lățime $b_d = b + 0{,}8(b_p - b)$ Se

Compresiune excentrică cu excentricitate mare



Se calculează ca o secțiune dreptunghiulară de lățime $b_d = b + 0{,}8(b_p - b$



$-b)$ Se calculează ca o secțiune dreptunghiulară de lățime $b_d = b + 0{,}8(b_p - b)$